

10/520933

PCT/NL

05/00517

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



REC'D 08 AUG 2003

WIPO

PCT

Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 15 juli 2002 onder nummer 1021078,

ten name van:

ENERGIEONDERZOEK CENTRUM PETTEN (ECN)

te Petten

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze en inrichting betreffende stromingsenergie zoals een windturbinepark",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 30 juli 2003

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,

Mw. I.W. Scheevelenbos-de Reus

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

UITTREKSEL

Werkwijze met betrekking tot een inrichting waarmee energie aan een stromend fluïdum onttrokken kan worden. Het wordt voorgesteld alle elementen van de inrichting samen als één stromingslichaam te beschouwen. Met name die elementen aan de stroomopwaartse zijde van de inrichting worden zo ingesteld dat zij zijwaartse (horizontaal en/of verticaal) krachten op de fluïdumstroom zetten, waardoor stromingen ontstaan die snel fluïdum door de energie-onttrekkende elementen leiden en langzaam fluïdum juist hiervan wegleiden (in bepaalde gevallen is ook juist het omgekeerde voordelig).

10 In het bijzonder omvat deze inrichting een windturbinepark en zijn de elementen die de zijwaartse krachten opwekken een soort vortex generatoren van de atmosferische grenslaag, meer in het bijzonder zijn dit horizontaal of verticaal scheef op de wind geplaatste windturbines. Door het systematisch volgens bepaalde patronen instellen van de elementen kan de opbrengst verhoogd worden doordat ten eerste de langzame lucht in het onderste deel van de atmosferische grenslaag
15 deels al weggeleid is voordat de wind het park treft en ten tweede omdat langzame zoglucht van energie-onttrekkende elementen door de circulaties wordt weggevoerd en wordt vervangen door snelle lucht van grotere hoogte. Dankzij de uitvinding ontstaan een aantal voordelen. Zo is de fluïdumsnelheid ter plekke van de energie-onttrekkende elementen in veel gevallen hoger waardoor meer opbrengst wordt verkregen. Verder hebben de energie-onttrekkende elementen minder hinder
20 van zeggen en kunnen ze derhalve dichter bij elkaar geplaatst worden waardoor op kabellengte bespaard wordt en het geïnstalleerd vermogen per oppervlakte kan toenemen.

Werkwijze en inrichting betreffende stromingsenergie zoals een windturbinepark.

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een inrichting waarmee energie uit een stromend fluïdum kan worden gewonnen, welke inrichting bestaat uit meerdere elementen met onderlinge beïnvloeding. Met het stromend fluïdum wordt zowel gedoeld op de wind als op (zee)waterstromen. Onder de inrichting wordt een samenstel van elementen (in het bijzonder windturbines) verstaan.

Het is algemeen bekend dat energie aan de wind kan worden onttrokken met windturbines. Zowel het formaat van de windturbines als het aantal windturbines nemen de laatste jaren snel toe. Steeds vaker worden meerdere turbines bij elkaar gezet in een zogenaamd windturbinepark. Wegens ruimtegebrek op het land (met name in Europa) worden turbines ook vaker offshore geplaatst. Inmiddels zijn er windturbineparken offshore gepland die bestaan uit tientallen turbines of meer. Hoewel het inzicht van de deskundigen hierover uiteenloopt, wordt windenergie gezien als een van de grote energiebronnen van de toekomst. Wordt dit de realiteit, dan zullen vele parken van honderden turbines van elk enkele megawatts geïnstalleerd vermogen nodig zijn. Dit soort parken zijn kostbaar en daarom is het van groot belang dat de productie van de parken hoog is, d.w.z. de kosten rechtvaardigt.

Omdat een windturbine kinetische energie aan de wind onttrekt, zal de windsnelheid achter de turbine gedaald zijn. Als een windturbine maximaal veel energie uit de wind onttrekt, is het normaal dat de windsnelheid op korte afstand achter de turbine (bijvoorbeeld één diameter) gedaald is tot minder dan 50% van de oorspronkelijke snelheid. Daar het vermogen dat uit de wind te winnen valt evenredig is met de derde macht van de windsnelheid, betekent de snelheidsdaling dat een tweede turbine die op die plek geplaatst zou zijn nog slechts één achtste van het vermogen kan halen, vergeleken met de turbine aan loef. Dit effect wordt vaak aangeduid met de term schaduwwerking en ook wel met de term interferentie, het verlies dat optreedt noemt men schaduwverlies.

In de praktijk treden dit soort dramatische vermogensdalingen zelden op omdat de windturbines vrij ver uit elkaar worden gezet. De onderlinge afstand is meestal 5 tot 10 keer de turbinediameter. In die afstand mengt de langzame wind in het zog met snellere wind daarbuiten, waardoor de windsnelheid ter plekke van een volgende turbine niet te veel gedaald is ten opzichte van de oorspronkelijke windsnelheid. Kortom door de afstand tussen turbines te vergroten vermindert de schaduwwerking. Deze maatregel werkt echter maar tot op zekere hoogte.

Het probleem beperkt zich niet alleen tot een ongunstige interactie tussen twee in windrichting achter elkaar opgestelde windturbines, maar speelt juist in belangrijkere mate in windturbineparken. De energie die door de windturbines die aan loefzijde in een park staan is onttrokken, samen met het hieronder toegelichte mengverlies, leidt onvermijdelijk tot een
 5 snelheidsdaling in de atmosferische grenslaag waarin de rest van het park zich bevindt. Men spreekt wel van uitputting van de energie in de atmosferische grenslaag. Algemeen gezegd vormen alle wind opwaarts gelegen turbines een nadeel voor alle wind afwaarts gelegen turbines en nog uitgebreider zullen zelfs turbines aan lij een nadeel voor de turbines aan loef opleveren. De onderlinge beïnvloeding (schaduweffect) werkt derhalve niet alleen in windrichting maar, weliswaar
 10 in veel mindere mate, ook windopwaarts. In nog ruimere zin kan er ook sprake zijn van schaduwwerking tussen verschillende windturbineparken. Een heel park dat aan lij ligt ten opzichte van een ander park kan een forse productiedaling ondervinden. Behalve de reeds genoemde opbrengstdalingen kan het zogbedrijf ook tot meer vermoelingsschade aan windturbines leiden. Schaduweffecten zijn daarom vooral ongunstig.

15 Indien het aantal turbines dat achter elkaar staat groot wordt, zijn er steeds grotere afstanden tussen de turbines nodig om schaduwverliezen acceptabel te houden. Dit betekent dat er een groot oppervlak nodig wordt en dat de kabellengtes tussen de turbines, en dus de kosten, toenemen. Op land betekent een grotere afstand tussen de turbines dat ook langere wegen moeten worden aangelegd wat een verdere kostentoename betekent. Hoewel het verder uit elkaar plaatsen van de
 20 windturbines helpt tegen schaduwverliezen, zal aanzienlijke productiedaling van de turbines aan lijzijde in grote parken onvermijdelijk zijn. Die daling kan zo groot zijn dat een park daardoor onrendabel wordt. Verliezen van 30% of meer zijn uit de literatuur algemeen bekend.

Bijna overal ter wereld komen bepaalde windrichtingen vaker voor dan anderen. Met spreekt dan over een dominante windrichting, die we hier definiëren als de jaargemiddelde windrichting
 25 waarbij het grootste deel van de jaarproductie bij deellastbedrijf geoogst wordt. Een geleidend of energie-onttrekkend element heeft invloed op de windrichting. We definiëren de ongestoorde windrichting als de windrichting ter plekke van een dergelijk element, terwijl het in gedachten even wordt weggehaald (dus geen invloed heeft). De windrichting varieert overigens fors op een korte tijdschaal (seconden tot minuten), daarom bedoelen we met het begrip windrichting niet de
 30 momentane waarde maar de gemiddelde waarde, bijvoorbeeld over 10 minuten. Door een windturbinepark zo te ontwerpen dat het zich voornamelijk uitstrekt loodrecht op de dominante windrichting kunnen schaduweffecten ook verminderd worden. In de praktijk wordt de opstelling

van de windturbines echter ook gedictieerd door tal van andere belangen zoals: Welke grond of zeeoppervlak is toegewezen aan de windturbine-exploitant, wat zijn de andere functies van het gebied, welke hinder wordt door de turbines veroorzaakt, hoe lopen bestaande netaansluitingen etc. Daardoor zal deze optie ook maar beperkt een oplossing bieden.

5 Het artikel 'The Application of PIV to the Wake of a Windturbine in Yaw', gepresenteerd op de '4th international symposium on PIV', Göttingen, Germany, September 17-19, 2001, noemt een situatie waarbij twee turbine in windrichting achter elkaar staan. De turbine aan lij heeft een productieverlies doordat hij in het zog van de turbine aan loef staat. In het artikel wordt voorgesteld de turbine aan loef scheef te zetten zodat het zog afbuigt en net (deels) langs de turbine aan lij
10 stroomt. Deze turbine staat nu niet meer (of voor een kleiner deel) in het zog en produceert daarom meer. De auteurs stellen dat actieve besturing van scheefstandshoeken van windturbines een voordeel zou kunnen opleveren voor de algehele maximalisatie van de productie van het park. Dit wordt dan bereikt door het sturen van het zog van stroomopwaarts gelegen turbines weg van stroomafwaarts gelegen turbines. Met deze maatregel worden schaduweffecten enigszins
15 gereduceerd, maar omdat het zog toch in het park blijft zal bij een groot park evengoed uitputting van de grenslaag optreden en zullen de schaduwverliezen in hoofdzaak aanwezig blijven.

De publicatie 'Optimal Control of Wind Power Plants' in Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, (27), Amsterdam, 1988, beschrijft dat het bedrijven van windturbines aan loefzijde van een park met een bladtipsnelheid lager dan die waarbij maximaal veel energie wordt
20 onttrokken, ertoe kan leiden dat de totale parkopbrengst stijgt. Er wordt geen fysische verklaring voor het met simulaties bevestigde resultaat gegeven.

In het proefschrift getiteld 'Flow Separation on Wind Turbine Blades', ISBN 90-393-2592-0, 8 januari 2001, wordt gesteld dat bij het mengen van de langzame zoglucht en de snelle niet-zoglucht kinetische energie verloren gaat. Bij een solitaire windturbine die bij optimaal bedrijf
25 draait is het mengverlies 50% van het door de turbine opgewekte vermogen, zodat de kinetische energie die een windturbine aan de stroming onttrekt niet gelijk is aan de opgewekte energie maar anderhalf keer zoveel. In deze publicatie wordt eveneens voorgesteld om de turbines aan loefzijde in een windturbinepark minder dan maximaal energie aan de wind te laten onttrekken. Daardoor neemt de productie van de turbines aan loefzijde weinig af terwijl het mengverlies fors afneemt, zodat de
30 windsnelheid dieper in het park minder zal dalen en de turbines aan lij meer gaan produceren. De bedoeling is dat de productietoename van de turbines aan lij meer bedraagt dan de productiedaling van de turbines aan loef. De onderhavige uitvinding is ontstaan door verdere studie van de menging.

Voor grote parken worden alle bovenstaande maatregelen als druppels op een gloeiende plaat gezien. Deskundigen beschouwen schaduwwerking als een gegeven situatie waar de windenergie mee geconfronteerd is. De turbines halen de energie uit de onderste laag van de atmosferische grenslaag en de snelheid in die laag zal inherent daaraan dalen.

5 Reeds 20 jaar worden schaduweffecten bestudeert en op 23 Mei 2002 hebben een twintigtal experts, sommigen sinds 1980 bezig met dit onderwerp, tijdens een bijeenkomst bij Risø National Laboratory, Denmark, hun meest recente informatie uitgewisseld. Alle aandacht richt zich op het modellering van de schaduweffecten. Het staat namelijk wel vast dat de effecten groot zijn, maar niet hoe groot en waardoor ze precies bepaald worden. Door de modellering te verbeteren kan
10 vooraf nauwkeuriger worden geschat hoeveel een groot park op een bepaalde positie zal produceren. Deze informatie is vanzelfsprekend uiterst relevant voor de investeerders. Tijdens de bijeenkomst werden schaduweffecten evenwel als onvermijdelijk gezien en wel in die mate dat de vraag of schaduweffecten misschien (deels) te vermijden zijn zelfs niet is gerezen is, wat blijkt uit de notulen.

15 Een verdere bevestiging van deze visie binnen de windenergiewereld vormt de studie 'Samenvatting technisch onderzoek SEP-Proefwindcentrale', Kema-Industriële energie systemen, Arnhem, November 1994, waarin de volgende conclusie wordt getrokken: 'verhoging van opbrengst met een parkregeling door rekening te houden met zog-interactie lijkt niet haalbaar'.

20 Samenvattend is het probleem van schaduwwerking dat het forse opbrengstdalingen veroorzaakt, dat het verder uiteen plaatsen van windturbines een remedie is die tot hoge kosten leidt (meer kabellengte en, op land, langere wegen) en tot een laag vermogen per eenheid van oppervlak. Omdat de ruimte schaars is, is dit een groot nadeel. Niet alleen kan op een gegeven oppervlak minder opgewekt worden, ook zullen veel oppervlaktes afvallen in concurrentie met andere doelen als er maar weinig opbrengst van te verwachten is. De heersende opvatting is dat het probleem wel beter gemodelleerd kan worden, maar niet kan worden opgelost.

25 Met de onderhavige uitvinding wordt onverwacht een oplossing aangedragen. De uitvinding heeft betrekking op inrichtingen waarmee energie aan stromende lucht of stromend (zee)water wordt onttrokken. De inrichting zal zich in een grenslaag bevinden, die de eigenschap heeft dat de fluïdumsnelheid dichtbij de wand laag is en met toenemende afstand van de wand toeneemt. De inrichting wekt aan loefzijde stromingen of circulaties op zodanig dat snel fluïdum van grotere
30 afstand van de wand nu naar de wand wordt geleid en langzaam fluïdum van nabij de wand daarvan af wordt geleid. De opgewekte stromingen zullen nu als vortex generatoren de snelheid van het fluïdum nabij de wand verhogen. Het opwekken van deze stromingen gebeurt door de zogenaamde

geleidende elementen die zowel passief als actief kunnen zijn en die ook energie kunnen opnemen uit of toevoegen aan het fluïdum. Door de juiste afstelling van de stromingen op de rest van de inrichting zal de fluïdumsnelheid ter plekke van de energie-onttrekkende elementen van de inrichting nu toenemen, zodat ook meer energie geproduceerd kan worden. Indien de inrichting uit een aantal energie-onttrekkende elementen achter elkaar bestaat, dan zijn de stromingen eveneens functioneel om het zog van de energie-onttrekkende elementen weg te leiden, wat tot verdere opbrengsttoename kan leiden. De energie-onttrekkende elementen samen worden in het vervolg ook wel park genoemd, waarbij begrepen dient te worden dat de energie-onttrekkende elementen tevens geleidend kunnen zijn, maar dat het park ook elementen kan bevatten die uitsluitend geleidend zijn.

10 Zo'n park kan zich zowel in de atmosfeer als onder water bevinden. Indien de inrichting uit een aantal energie-onttrekkende elementen bestaat op regelmatige afstanden van elkaar en uit een op grotere afstand gelegen andere groep geleidende elementen dan noemen we de eerste groep het park en de tweede groep daarbuiten gelegen. Zo kunnen we over posities binnen het park en buiten het park spreken. Verder wordt onder het park tevens het volume bedoeld waarbinnen zich fluïdum

15 bevindt waaraan energie wordt onttrokken zonder dat de onderhavige uitvinding wordt toegepast. Met andere woorden het volume om het park heen waarbinnen uitputting van de kinetische energie significant optreedt. We kunnen verder spreken van de breedte en de lengte van het park. De breedte wordt gemeten loodrecht op de dominante stromingsrichting van het fluïdum en de lengte in dominante stromingsrichting. Het gaat steeds over de grootste breedte of lengte gemeten tussen

20 verschillende elementen van het park. Het parkoppervlak volgt eenvoudig uit het product van lengte en breedte. Als we alle oppervlaktes die bestreken worden door energie-onttrekkende elementen binnen het park optellen (bij twee horizontale as turbines met een diameter van 100 m is het bestreken oppervlak $2 \cdot \pi/4 \cdot 100^2 \text{ m}^2$) hebben we het totale bestreken oppervlak van het park. Dit bestreken oppervlak maakt normaal gezien een klein percentage van het parkoppervlak uit,

25 bijvoorbeeld zo'n 5%. Door toepassing van de onderhavige uitvinding, wat steeds gunstiger wordt naarmate een park groter wordt, zal het genoemde percentage met name in grotere parken, met bijvoorbeeld meer dan 20 turbines, kunnen toenemen tot boven de 5%, 10% of 20%.

In een bijzondere uitvoering kan de wand met het oppervlak van de aarde, d.w.z. land of zee(water) vergeleken worden, de inrichting met een windturbinepark en zowel de energie-onttrekkende als de geleidende elementen met windturbines en de stromingen met circulaties. De

30 circulaties kunnen met een aantal turbines vóór het park al worden opgewekt door de turbines verticaal of horizontaal scheef op de wind te zetten. Er ontstaat daardoor een horizontale en/of

verticale zijwaartse kracht op de luchtstroom, zodanig dat stromingen ontstaan, die de langzame lucht uit de onderste lagen in de atmosfeer wegleiden en snelle lucht naar beneden leiden. De windsnelheid in het park en met name ter plekke van de windturbines die de energie onttrekken stijgt, waardoor de opbrengst stijgt. Andere uitvoeringen van dergelijke inrichtingen zijn onder-
 5 water-turbines die energie uit een waterstroom onttrekken. Zo'n waterstroom kan een stromende rivier zijn, een getijdenstroom en elke andere op aarde voorkomende waterstroom waar energie uit te onttrekken is. Ook bij deze inrichtingen worden zijwaartse krachten op de stroming gezet zodat langzame stroming weg wordt geleid van de energie-onttrekkende elementen en snelle stroom juist door die elementen wordt geleid.

- 10 In het algemeen is een doel van de uitvinding om snelle fluïdumstromen die zich niet al te ver van de inrichting bevinden door de energie-onttrekkende elementen te leiden. In het bijzondere geval van windturbineparken of waterturbines die op de bodem van een daarboven stromend water staan, zal de fluïdumstroom met toenemende hoogte boven de turbines toenemen en zal de fluïdumgeleiding zodanig moeten plaatsvinden dat fluïdum van grotere hoogte omlaag wordt geleid.
- 15 Eveneens kan het snellere fluïdum zich zijwaarts ten opzichte van de inrichting (of een deel van de inrichting) bevinden. Bijvoorbeeld in complex terrein kan het zo zijn dat een snelle wind deels juist langs windturbineparken waait. In die gevallen kunnen de geleidende elementen van de inrichting zo ingesteld worden dat het snelle fluïdum zijwaarts wordt afgebogen en zo door de energie-onttrekkende elementen wordt geleid. In het geval van een energie-onttrekkende inrichting in een
- 20 waterstroom is het ook denkbaar dat een snelle fluïdumstroom zich onder de inrichting bevindt. Bijvoorbeeld indien de inrichting drijvend is uitgevoerd en zich in het bovenste deel van een stromende rivier of getijdenstroom bevindt. In die gevallen worden de geleidende elementen zo ingesteld (waaronder ook hun positie dient te worden verstaan), dat langzaam fluïdum weg wordt geleid van de energie onttrekkende elementen van de inrichting en snel fluïdum juist door deze
- 25 elementen wordt geleid. Overigens dient begrepen te worden dat bepaalde de elementen, zoals windturbines, zowel een energie-onttrekkende als een geleidende functie kunnen hebben. In het bijzonder betreft het een windturbine die zoals bekend energie uit de stroming kan opnemen maar bovendien, indien scheef op de stroming geplaatst, geschikt is om de stroming verticaal of horizontaal zijwaarts af te buigen. Een doel waarop gericht wordt is dat de inrichting zodanig wordt
- 30 ingesteld dat schaduwverliezen voor de gehele inrichting afnemen. Het kan best zo zijn dat bepaalde energie-onttrekkende elementen een groter schaduwverlies krijgen, het is echter altijd zo dat het rendement (gemeten naar opbrengst en belastingen) van de inrichting als geheel toeneemt.

Windturbines of waterturbines onttrekken maximaal veel energie aan een fluïdum, indien het fluïdum ter plekke van de turbine tot ongeveer $2/3$ van de oorspronkelijke snelheid wordt afgeremd en op ongeveer 1 diameter achter de turbine tot $1/3$. De snelheidsafname van $1/3$ van de oorspronkelijke snelheid ter plaatse van de rotor noemt men de axiale inductie, die met de letter a wordt aangeduid. In het geval van maximale energie-onttrekking is a gelijk aan $1/3$. Door de axiale inductie kleiner dan $1/3$ te kiezen, remt de turbine de wind minder af en haalt de betreffende turbine minder energie uit de wind, wat voor de achterliggende turbine volgens de stand der techniek gunstig kan zijn. Indien echter een turbine als geleidend element wordt gebruikt, wordt volgens een voorkeursuitvoering van de onderhavige uitvinding de axiale inductie op grotere waarden dan $1/3$ ingesteld. De windturbine oefent dan een grotere kracht uit op de wind dan die waarbij maximaal veel energie wordt opgewekt. Dit kan voordelig zijn voor de rest van de inrichting. Tevens vormen turbines waarbij de inductiefactor wordt ingesteld op negatieve waarden van a een voorkeursuitvoering. Een negatieve waarde van a betekent dat de windsnelheid ter plekke van de turbine juist toeneemt, doordat de turbine wordt aangedreven en energie aan het fluïdum toevoegt. Deze speciale situatie kan voordelig zijn om het fluïdum weg te leiden op een wijze dat de kosten die dit met zich meebrengt lager zijn dan de baten voor de rest van de inrichting.

De fluïdumgeleidende elementen van de inrichting kunnen onderdeel uitmaken van een groep bij elkaar opgestelde energie-onttrekkende elementen (in het bijzonder een windturbinepark), maar kunnen ook op afstand van zo'n groep zijn opgesteld. Een voordeel daarvan kan zijn dat reeds voordat de energie-onttrekkende elementen aangestroomd worden, er een stromingsgeleiding heeft plaatsgehad. Hierdoor kan een langzame fluïdumstroom, die zonder geleiding door de groep energie-onttrekkende elementen zou zijn gestroomd, nu zijn weggeleid en zijn vervangen door een snelle fluïdumstroom, waar vanzelfsprekend meer energie uit gewonnen kan worden. In het bijzonder is deze uitvoering voordelig in grenslagen waarbij de snelheid van de fluïdumstroom in hoofdzaak toeneemt met de afstand van de wand. Meer in het bijzonder gaat het om de atmosferische grenslaag waarin een windturbinepark is geplaatst. De turbines bevinden zich vrij diep in de grenslaag en hebben daardoor een aanzienlijk lager windaanbod dan dat ze op grotere hoogte zouden ondervinden. Door nu aan loefzijde van een windturbinepark geleidende elementen te plaatsen (in het bijzonder windturbines) kan de wind van grotere hoogte omlaag en door het park worden geleid. Overigens zullen de stromingen die aan loef zijn opgewekt zich continueren in het energie-onttrekkende deel van de inrichting, zodat ze ook daar nog effectief zijn door zogfluïdum weg te leiden en snel fluïdum van grotere afstand tot de inrichting door de inrichting te leiden. De

geleidende elementen op afstand van de energie-onttrekkende groep, staan bij voorkeur aan loefzijde van die groep opgesteld. Op geografische plaatsen waar sprake is van een sterk dominante windrichting kunnen de geleidende elementen vast worden opgesteld. In het bijzondere geval van offshore windenergie kunnen de geleidende elementen ook mobiel worden uitgevoerd, bijvoorbeeld drijvend. Door de elementen te verplaatsen, kunnen zij altijd aan loefzijde van het park worden gehouden.

De in de uitvinding bedoelde inrichting zal stromingen of met andere woorden wervelingen of circulaties opwekken, waardoor snel fluïdum door het park wordt geleid en langzaam fluïdum (in het bijzonder zogfluïdum) juist daarvan weg wordt geleid. De afstand waarover deze uitwisseling van snelle en langzame stromingen kan plaatshebben is beperkt en hangt onder meer af van de grootte van de inrichting. Hoe groter de inrichting hoe makkelijker een grootschalige circulatie kan worden opgewekt en hoe meer rendement zo'n grootschalige circulatie heeft. In het bijzondere geval van windturbineparken is de afstand waarover fluïdum zijwaarts kan worden geleid tenminste gelimiteerd door de hoogte van de atmosfeer (effectief zo'n 10 kilometer). Echter, de atmosfeer bestaat meestal uit een onstabiel deel (de onderste 1 tot 2 km) en een stabiel deel daarboven. In het stabiele deel is sprake van stratificatie en is het moeilijk om luchtstromen in verticale richting op te wekken. Daarom beperkt de schaal van de circulaties, die relatief eenvoudig op te wekken zijn, zich verder tot zo'n 1 á 2 kilometer, in het geval van windturbineparken. De grenslaag waarin grote windturbineparken zich bevinden zal in de orde liggen van een aantal keer de turbinehoogte. Bij turbines van 150 meter hoogte zal in een groot park tot op bijvoorbeeld de 2 tot 6-voudige hoogte (300m tot 900m) een aanzienlijke uitputting van de grenslaag optreden. Hoe groter het park hoe groter die uitputtingshoogte. Een doel van de onderhavige uitvinding is fluïdum van boven deze uitputtingshoogte naar beneden leiden en omgekeerd fluïdum van lage snelheid (ver) naar boven te geleiden. Bij een klein park met kleine turbines is een circulatieschaal volgens de uitvinding ter grootte van een halve turbinediameter reeds functioneel. Bij een groot park kan de circulatieschaal oplopen tot vele turbinediameters. De circulatieschaal kan gedefinieerd worden aan de hand van het volgende voorbeeld. Stel dat er boven een windturbinepark (figuur 6) circulaties (3) worden opgewekt, zoals in de figuur is weergegeven, dan ontstaan er stromen van het park af (7) en stromen naar het park toe (8). De circulatieschaal noemen we nu de afstand tussen stromen (7 of 8) in dezelfde richting, waartussen zich een tegengestelde stroom bevindt. Globaal is die afstand ongeveer gelijk aan de afstand tussen de verticale pijlen (7 en 8) in de tekening.

Is een circulatie eenmaal opgewekt dan zal deze pas over grotere afstand weer oplossen. Het opwekken van de (grote) circulaties kost veel, in de zin van investeren in het aanbrengen van additionele geleidende elementen of in de zin van een reductie van de opbrengst doordat energie opwekkende elementen tevens een geleidende functie krijgen. Het is dan ook zinvol om een
 5 eenmaal opgewekte circulatie goed te benutten. De circulatie zal zich in hoofdstromingsrichting voortbewegen, wat een reden is om een windturbinepark zich in dezelfde richting te laten uitstrekken. Dit is een verrassende conclusie, omdat windturbineparken tot op heden juist bij voorkeur loodrecht op de dominante windrichting worden geplaatst, terwijl een park zich volgens de uitvinding ook voordelig in dominante windrichting kan uitstrekken. In een voordelige uitvoering
 10 volgens de uitvinding wordt snel fluïdum van grotere afstand tot de wand zelfs zo effectief naar de energie-onttrekkende elementen geleid, dat de fluïdumsnelheid in hoofdstromingsrichting door het park gaand kan toenemen i.p.v. afnemen. Men zou van negatieve schaduwverliezen kunnen spreken.

Op aarde wordt de windrichting in hoofdzaak bepaald door de hoge en lage drukgebieden, en
 15 door de aardrotatie. Zoals bij elke deskundige in het vakgebied bekend, buigt de wind op het Noordelijk Halfrond naar links af en op het Zuidelijk Halfrond naar rechts. In vrije stroming werken er op de wind, loodrecht op de windrichting, twee in het horizontale aardoppervlak gelegen even grote tegengestelde krachten: de kracht t.g.v. de drukgradiënt en de Corioliskracht. De laatste is proportioneel met de windsnelheid. Indien nu de windsnelheid daalt, bijvoorbeeld omdat er
 20 kinetische energie aan wordt onttrokken, zal de met de windsnelheid evenredige Corioliskracht afnemen. De drukgradiënt is nu sterker dan de Corioliskracht en derhalve zal de wind versnellen in de richting van de drukgradiënt. Op het Noordelijk Halfrond buigt de langzame lucht daardoor naar links af t.o.v. de niet afgeremde lucht; op het Zuidelijke Halfrond naar rechts t.o.v. de niet afgeremde lucht. Het wegleiden van zoglucht en aantrekken van snelle lucht wordt volgens een
 25 voorkeursuitvoering van de uitvinding zodanig gedaan, dat de hierboven beschreven natuurlijke afbuiging van zoglucht wordt versterkt. In een verdere voorkeursuitvoering draaien de turbines die een geleidende functie hebben linksom op het Noordelijk Halfrond en rechtsom op het Zuidelijk Halfrond, omdat dan, zeker in combinatie met cyclische bladhoekverstelling, nog sterker wordt bereikt dat de zoglucht aan de onderzijde daarheen wordt geduwd, waar het van nature al heen gaat.
 30 De draairichting is dan gedefinieerd voor een waarnemer die naar de drukzijde van de turbine kijkt. Meer in het algemeen wordt voorgesteld om de draairichting van de geleidende turbines zodanig te kiezen dat de zogrotatie, die het gevolg is van het rotorkoppel, ook weer meewerkt met de

circulaties die nagestreefd worden om langzaam fluïdum weg te leiden van energie-onttrekkende elementen en snel fluïdum er doorheen te leiden.

De inrichting die bedreven wordt volgens de uitvinding, zal minder schaduwverlies ondervinden dan een inrichting volgens de stand der techniek. Omdat de traditionele manier om schaduwverliezen te beperken bestaat uit het vergroten van de afstand tussen de energie-onttrekkende elementen (in het bijzonder windturbines) wordt een park daarmee duurder en geeft een minder efficiënte oppervlaktebenutting. Door toepassing van de onderhavige uitvinding kan een park compacter worden ontworpen, terwijl het schaduwverlies acceptabel blijft. Gangbare afstanden in dominante windrichting tussen energie-onttrekkende elementen bedragen zo'n 5 tot 10 maal de karakteristieke afmeting van zo'n element (in het bijzonder: bij een windturbine is dat 5 tot 10 maal de rotordiameter). Door toepassing van de uitvinding kan deze afstand gereduceerd worden tot in het algemeen minder dan 5 maal de karakteristieke afmeting -, meer in het bijzonder 4 maal en nog meer in het bijzonder 3 maal de karakteristieke afmeting. De karakteristieke afmeting definiëren we als de wortel uit het product van $4/\pi$ en het bestreken oppervlak van een energie-onttrekkend element. Bij een horizontale as turbine is dat de diameter.

In de bovenstaande tekst over de onderhavige uitvinding, wordt met de algemene termen 'energie-onttrekkend element' en 'geleidend element' bedoeld: elk systeem dat deze functies kan uitoefenen zoals bekend in de stand der techniek. In het bijzonder gaat het om turbines die zowel onder water als boven water bekend zijn; het gaat om zowel het horizontale as type (figuur 5) als het verticale as type (figuur 31). Hierbij dient begrepen te worden dat de termen horizontaal en verticaal slechts type-aanduidingen zijn en elke stand van de assen in de praktijk mogelijk is. De bedoelde elementen kunnen, zoals elke deskundige begrijpt, verder ladderturbines betreffen, vliegende turbines, translerende turbines, turbines in combinatie met concentrerende elementen zoals tipvanen of ringvleugels, elektrostatische windturbines, zeppelinturbines, turbines met meerdere rotoren op een toren (figuur 22), groepjes turbines (figuur 20), etc. De geleidende elementen kunnen alle genoemde gedaantes hebben waarbij ook passief opgestelde profielen (figuur 19), vleugels of zeilen kunnen worden bedoeld. Ook kunnen bestaande delen van energie-onttrekkende elementen worden aangepast zodat zij een geleidende functie krijgen. Bijvoorbeeld figuur 29 toont een windturbine met een profiel om de toren. Hoewel hier een speciale uitvoering getekend is dient de vakman te begrijpen het elke uitvoering waarmee een dwarskracht op de stroming kan worden uitgeoefend voldoet en elke aanpassing van systemen om dit te bereiken onder de uitvinding valt. De geleidende elementen kunnen verder bestaan uit vliegers, magnusrotoren, etc. Speciaal noemen we nog

systemen die luchtstromen kunnen geleiden door de dichtheid in de stroming te veranderen. Dit kan door temperatuurveranderingen waarbij een geleidend element kan bestaan uit een groot zwart vlak, dat van de zon afkomstige warmte afgeeft aan de lucht, zodat deze een lagere dichtheid krijgt en naar boven wordt geleid. Ook kan het door water in de lucht te brengen, waardoor de lucht afkoelt
 5 door verdamping van het water. De dichtheid neemt nu toe waardoor de lucht naar beneden zal stromen.

Verder voordeel wordt verkregen, indien de uitvinding wordt toegepast op parken waarbij de energieonttrekkende elementen in groepjes bij elkaar zijn gezet (figuur 20). Omdat een doel van de vinding het wegleiden van het zog is, is dit voordelig. Een element kan de stroming namelijk
 10 afbuigen over een aantal keer zijn karakteristieke afmeting. Met name in grote parken dient het zog over grote afstand te worden weggeleid zodat het de inrichting aan lij niet meer hindert. Omdat een groepje energie-onttrekkende elementen een grotere karakteristieke afmeting heeft dan een enkel element, kan zo'n groepje het zog over een grotere absolute afstand wegleiden (zie ook figuren 21 en 22). In het bijzondere geval waarbij een scheef op de windrichting geplaatste windturbine als
 15 geleidend element wordt gebruikt, ontstaat meer voordeel als er ook onder de rotor een zijwaartse kracht op de lucht wordt gezet. In vaktermen: de circulatie die gekoppeld is aan de zijwaartse kracht die de turbine op de wind zet, dient door te lopen tot aan het oppervlak (de grond of het water). Dit kan op een groot aantal manieren gerealiseerd worden. Twee manieren zijn geschetst in figuren 27 t/m 30. Het is algemeen bekend dat de rotorbladen van turbines sterk wisselend belast worden als
 20 een turbine scheef op de stroming staat. Dit kan ondervangen worden door de rotorbladen te voorzien van cyclische bladhoekverstelling. Een voorkeursuitvoering volgens de vinding is het uitvoeren van de fluïdumgeleidende turbines met cyclische bladhoekverstelling. Indien voor de geleiding verticale as turbines gekozen worden kunnen deze ook voorzien worden van cyclische bladhoekverstelling (figuren 31 en 32) zodat ook dit type turbine een dwarskracht op de stroming
 25 kan uitoefenen. Volgens de stand der techniek komt scheefstand in geringe mate veel voor omdat windrichtingsvariaties zo snel zijn dat de windturbine ze niet kan volgen. Bovendien heeft een rotor meestal een kleine tilhoek om een grotere afstand tussen de bladtippen en de toren te waarborgen. Door de tilhoek staat de rotor ook minimaal scheef op de wind. Een rotor is om deze redenen bestand tegen scheefstandsbelastingen tgv. minder dan 10° graden scheefstand gedurende 20 jaar.
 30 Windturbines die als geleidende elementen optreden in de onderhavige uitvinding dienen berekend te zijn op scheefstandshoeken van meer dan 20° , in het bijzonder meer dan 30° en nog meer in het bijzonder meer dan 45° gedurende jaren. In een verdere voorkeursuitvoering van deze turbines

kunnen de bladen de bladhoek cyclisch worden versteld met een verstersnelheid hoger dan 6° per halve omwenteling. Het zog opzij leiden kan door windturbines scheef te zetten met de krui-inrichting zoals volgens de stand der techniek bekend is. In een voorkeursuitvoering kan de rotor ook draaien in tiltrichting (figuren 25 & 26). Een grote tilthoek kan functioneel zijn indien het zog naar boven geleid dient te worden. In het park van figuur 6 is daar een voorbeeld van te zien. Meer in het bijzonder is de tilthoek variabel instelbaar zodat afhankelijk van windrichting, windsnelheid en de positie van de turbine in het park de optimale tilthoek steeds gekozen kan worden. Natuurlijk dient begrepen te worden dat de belastingen op een over een grote hoek getilte rotor met cyclische bladhoekverstelling weer gereduceerd kunnen worden.

10 In alle bovenstaande uitvoeringsvormen is steeds het doel geweest een inrichting als geheel te optimaliseren. Dit doel kan verder uitgebreid worden tot het optimaliseren van een aantal inrichtingen tegelijk. In het bijzonder kan het gaan om meerdere windturbineparken, waarbij een park zich ten dele in de schaduw van een andere park bevindt. Door in het opwindse park met deze situatie rekening te houden, d.w.z. door de turbines in dit park de stroming zodanig te laten geleiden dat het aan lij gelegen park minder schaduwverlies ondervindt. In figuren 10 en 12 is te zien dat de
15 turbines aan lijzijde in dit park recht op de wind staan en tot doel hebben veel energie uit de wind op te nemen en niet meer bijdragen aan het opwekken of in stand houden van de circulaties die snel fluïdum van grote hoogte naar beneden leiden. Dit dient namelijk geen doel meer, tenzij er nog een ander park aan lijzijde van de getekende parken zou liggen. In die gevallen is het zinvol om ook de
20 in de figuren 10 & 12 aangeduide turbines 15 mee te laten werken aan de geleiding, zodat het zog wordt weggeleid en snel fluïdum door het park aan lij wordt geleid.

De hierboven opgesomde maatregelen zijn allen gericht op het verhogen van de fluïdumsnelheid ter plekke van de energie-onttrekkende elementen, zodanig dat de productie van de inrichting als geheel toeneemt. De inrichting kan echter ook op een andere manier bedreven worden
25 waarbij langzaam fluïdum juist binnen het park wordt gehouden of naar het park wordt geleid, m.a.w. schaduwwerking wordt bevorderd. Dit kan voordelig zijn als de fluïdumsnelheid hoger is dan die waarbij de energie onttrekkende elementen hun maximale capaciteit bereiken. Door de schaduwwerking te bevorderen daalt de fluïdumsnelheid en kan de productie van het energie onttrekkende element toenemen en / of kunnen de belastingen op die elementen afnemen. Meer
30 voordeel ontstaat als de fluïdumsnelheid door het bevorderen van de schaduwwerking onder V_{out} gehouden kan worden zodat de energie-onttrekkende elementen in bedrijf kunnen blijven. Deze situatie wordt in figuur 33 nader toegelicht.

De optimale inrichting en de bijbehorende optimale werkwijze voor het onttrekken van energie aan de stroming hangt, zoals gebleken is, af van veel factoren. Bij het ontwerp van zo'n inrichting dient veel rekenwerk verricht te worden om de verschillende elementen op de beste manier te kiezen en op de juiste plaatsen op te stellen. Dit is vanzelfsprekend een functie van de karakteristieken van de gebruikte passieve of actieve elementen, van hun onderlinge positie, van het terrein, van meteorologische parameters en van allerlei ander zaken zoals financiële aspecten en verzekeringszaken. De complexiteit en de grote hoeveelheid mogelijke oplossingen vormt de aanleiding om dit ontwerpproces te ondersteunen met software. Software met de speciale eigenschap dat geleidende elementen aan de inrichting kunnen worden toegevoegd en/of waarbij turbines een geleidende functie kunnen hebben en waarbij de invloed van die elementen op het park kan worden voorspeld valt onder de uitvinding.

Is een energie-onttrekkende inrichting eenmaal ontworpen dan zijn er vervolgens een groot aantal samenhangende variabelen te kiezen. De optimale afstelling van al die variabelen is moeilijk vooraf te bepalen. Er is daarom software nodig die eventueel gebaseerd op bepaalde fysische inzichten een groot aantal combinaties van instellingen probeert. Volgens een uitvoering van deze programmatuur worden parameters zoals de scheefstandshoek, de circulatieschaal, de posities van de circulatie opwekkende elementen of de richting van de dwarskracht volgens een bepaald patroon gevarieerd. De prestatie van de inrichting wordt als functie van de instelbare parameters opgeslagen en vervolgens wordt het optimum gezocht bij elke windsnelheid en windrichting. Ook andere meteorologische gegevens zoals de temperatuurverdeling of de stabiliteit van de atmosfeer treden hierbij als parameters op. Vanuit een gevonden lokaal optimum worden steeds weer parameters gewijzigd om een beter optimum te vinden. Het programma kan zelflerend zijn en zo in staat zijn de inrichting steeds beter aan te sturen. Zo ontstaat op den duur een goed beeld over de regelstrategie en wordt een database aangelegd die weer functioneel kan zijn voor de afregeling van andere energie-onttrekkende inrichtingen. Ook kan met deze kennis het ontwerpproces voor nieuwe inrichtingen verbeterd worden.

De vinding wordt bij voorkeur toegepast in windturbineparken, door bepaalde windturbines scheef op te stellen. Het is elke deskundige bekend dat dit nadelig is voor die turbines, die niet op deze fysiek zwaardere belasting zijn ontworpen en gebouwd. Omdat scheef opgestelde windturbines normaal gezien direct door de deskundige verworpen zouden worden als een voorkeursopstelling, ligt de vinding niet voor de hand. De onderhavige uitvinding kan volgens eerste ruwe schattingen voor kleinere parken een opbrengsttoename van procenten opleveren en voor grotere parken kan het

tientallen procenten bedragen. In een extreme uitvoering neemt de windsnelheid in een park zelfs toe in windrichting. Verder voordeel ontstaat omdat parken compacter kunnen worden gebouwd, waardoor de voor het park benodigde infrastructuur beperkt kan blijven: kortere kabellengte en op land bovendien kortere wegen en zowel op land als op het water kortere reisafstanden. Omdat meer
 5 opbrengst per eenheid van oppervlak wordt verkregen, kan de toepassing van de vinding windenergie beter laten concurreren met andere toepassingen, waardoor behalve meer opbrengst per oppervlakte-eenheid bovendien meer ruimte voor parken beschikbaar komt. Alles resummerend is de commerciële waarde van de vinding groot.

Verdere kenmerken en bijzonderheden zullen worden beschreven aan de hand van de
 10 tekeningen van diverse uitvoeringsvoorbeelden volgens de uitvinding. In de tekeningen zijn een aantal elementen met een nummer aangeduid, de verklaring van de nummer wordt in de onderstaande legenda gegeven:

1. windturbinepark
2. dominante windrichting. De pijlen 2 in de figuren die de dominante windrichting aanduiden
 15 moeten gezien worden als windvaantjes, d.w.z. de wind komt uit de richting waarnaar de pijl wijst.
3. circulatie
4. circulatiehoogte (maximaal vanaf deze hoogte wordt lucht in het park geleid)
5. turbines die zog in stromingsrichting meegaand naar links afbuigen
- 20 6. turbines die zog in stromingsrichting meegaand naar rechts afbuigen
7. zogstroom
8. snelle stroom van boven
9. begrenzing van de stroom waaruit het park de energie heeft onttrokken
10. de 10 minuten gemiddelde windrichting ter plekke van de pijl
- 25 11. snelheidsprofiel ongestoord
12. snelheidsprofiel volgens de uitvinding
13. snelheidsprofiel state of the art
14. turbines die het zog in windrichting meegaand naar boven leiden
15. turbine aan lij
- 30 16. drijfflichaam dat verplaatst kan worden
17. profiel opgesteld buiten het park
18. door profiel afgebogen luchtstroom

- 19. groep turbines
- 20. effectieve breedte
- 21. verplaatsingsafstand van het zog
- 22. hoek tussen lijnopstelling en dominante windrichting
- 5 23. rotor as
- 24. horizontaal
- 25. tilhoek
- 26. tiltscharnier
- 27. toren
- 10 28. rotoren
- 29. profiel
- 30. verticale as turbine (VAT)
- 31. draaibeweging
- 32. bladen van VAT
- 15 33. curve die het vermogen als functie van de windsnelheid weergeeft
- 34. startwindsnelheid 'cut-in'
- 35. nominale windsnelheid
- 36. stopwindsnelheid 'cut-out'
- 37. windturbine

20 Figuur 1 toont een windturbinepark (1) met daarbij aangegeven de dominante windrichting (2). Indien het park wordt bedreven en/of ingericht volgens de uitvinding zal het verlies door schaduweffecten minder zijn dan normaal.

25 Figuur 2 toont de doorsnede I-I van het park van figuur 1 volgens de uitvinding waarin te zien is dat er om en om rijen turbines zijn die het zog afwisselend naar links (5) of naar rechts (6) leiden. Hierdoor ontstaan de circulaties (3) waardoor de zogen (7) van de turbines naar boven worden geleid en de snelle wind van grotere hoogte (8) naar beneden wordt geleid. De circulaties worden opgewekt door windturbines die een zijwaartse kracht op de wind zetten aan loefzijde van het park.

30 Figuur 3 toont een zij aanzicht van een rij turbines uit het park van figuur 1 dat volgens de stand der techniek bedreven wordt. Windrichting (10) is de op dat moment heersende windrichting. Het snelheidsprofiel (11) van de ongestoorde atmosferische grenslaag zal in windrichting

meebewegend veranderen tot profiel (13). Lijn (7) geeft de stromingsrichting van de zoggen weer. Lijnen (9) begrenzen de stroming waaraan het park energie heeft onttrokken.

Figuur 4 toont hetzelfde zijaanzicht met het verschil dat de uitvinding wordt toegepast. Vanaf loefzijde geteld staan de eerste 3 turbines (5) scheef op de wind waardoor de wind naar links wordt afgebogen. Daardoor ontstaat een circulatie die wind van boven (8) door de turbines leiden die meer aan lijzijde gelegen zijn. Het park onttrekt nu energie aan de atmosfeer tot op veel grotere hoogte wat blijkt uit de bovenste lijn (9) die in figuur 4 veel hoger ligt dan in figuur 3. De scheefstaande turbines aan loefzijde kunnen gezien worden als vortex generatoren in de atmosferische grenslaag.

Figuur 5 toont een doorsnede II-II van de rij turbines in figuur 4. Hier is de circulatie (3) te zien die is opgewekt door de turbines aan loef en die zoglucht (7) via een zijwaartse beweging naar boven leidt en simultaan snelle lucht van boven (8) naar beneden leidt.

Figuur 6 toont het windturbinepark (1) volgens de uitvinding waarbij elke circulatie (3) meerdere rijen turbines omvat. De hoogte (4) van de circulatie zal hoger zijn dan die bij figuur 2. Hoe groter een windturbinepark hoe groter en hoger de circulaties zullen zijn die opgewekt kunnen worden. Naarmate het park groter wordt zal een grotere circulatie ook nodig zijn om te voorkomen dat zoglucht die aan loefzijde ontstond weer te snel in het park terug zou komen. In figuur 6 zijn ook turbines (14) te zien die het zog naar boven leiden.

Figuur 7 toont een zijaanzicht van de rij turbines van park (1) uit figuur 6 waarbij het zog volgens de uitvinding naar boven wordt gestuurd door turbines aan loef (14). Het naar boven sturen wordt bereikt door de grote tilthoeken van de turbines (14). De bovenste lijn (9) die het gebied begrenst waarbinnen veel energie uit de wind is onttrokken loopt opnieuw naar veel grotere hoogte in vergelijking tot de situatie van figuur 3 die de stand der techniek beschrijft. Hoe hoger lijn (9) loopt hoe beter het park energie uit luchtstromen op grotere hoogte kan onttrekken.

Figuur 8 toont de verticale sturing van het zog volgens de vinding in detail. Omdat turbine (14) aan loef een grote tilthoek heeft wordt het zog (7) begrensd door contour (9) naar boven geleid en zal snelle lucht van boven (8) daarvoor in de plaats komen. Turbine (15) aan lij zal hierdoor meer wind krijgen en derhalve meer produceren.

Figuur 9 toont doorsnede III-III van figuur 8. Het zog (7) begrensd door contour (9) stroomt omhoog waardoor de wind van boven (8) naar beneden stroomt en turbine (15) meer produceert.

Figuur 10 toont een windturbinepark (1) waarmee volgens de uitvinding één grote circulatiestroom wordt opgewekt. Alle turbines aan loef en die dieper in het park (5) (niet allen van

een nummer voorzien) leiden de stroming naar links. Op het Noordelijk Halfrond zal afgeremde (zog)lucht vanzelf al naar links afbuigen door de atmosferische drukgradiënt die door de afremming niet meer in balans maar groter is dan de corioliskracht. Zoglucht naar links sturen op het Noordelijk Halfrond heeft daardoor de voorkeur. De circulatie wordt reeds aan loefzijde in het park opgewekt, daarom staan de turbines aan loef het scheefste en neemt de scheefstand in stromingsrichting door het park gaande af. De turbines aan lij (15) hoeven niet meer mee te werken aan de circulatie omdat het niet meer belangrijk is wat er daarachter gebeurt. Deze turbines staan daarom recht op de wind om zo veel mogelijk te produceren.

10 Figuur 11 toont de doorsnede IV-IV van het park uit figuur 10. Het zog (7) van de turbines wordt zijwaarts geleid zodat een circulatie (3) ontstaat die weer snelle lucht van boven (8) het park invoert, waardoor de opbrengst stijgt.

15 Figuur 12 toont een windturbinepark (1) volgens de uitvinding, waarin het zog door de scheefstaande turbines naar weerszijden van het park wordt geleid. Turbines (5) sturen het naar links en turbines (6) sturen het naar rechts. Alleen de turbines (15) aan lijzijde werken niet meer mee aan de circulatie.

20 Figuur 13 toont doorsnede V-V uit figuur 12. Er zijn twee tegen elkaar indraaiende circulaties (3) ontstaan door het patroon waarin de turbines in het park zijn scheefgezet. In deze uitvoering wordt de zoglucht (7) zijwaarts uit het park gedreven en wordt snelle lucht (8) van boven aangevoerd.

25 Figuur 14 toont volgens de uitvinding een combinatie van een windturbinepark 1 en een drijflichaam (16) waarop twee turbine (5) zijn geplaatst die een kracht naar links op de wind zetten waardoor het zog naar links afbuigt. Omdat de windrichting varieert zal het drijflichaam verplaatst worden afhankelijk van de windrichting zodat het steeds aan loef blijft. De twee turbines op het drijflichaam wekken al buiten het park aan loefzijde een circulatie op. Hierdoor zal de langzamere lucht aan de onderzijde van de atmosferische grenslaag naar boven bewegen en de snellere lucht van boven naar beneden worden geleid. Voor dit proces is tijd nodig en daarom zijn de turbines (5) ook opwinds ten opzichte van het park geplaatst. Het voordeel zit nu in twee effecten: de zoggen van de turbines in het park wegleiden en de langzame lucht aan de onderzijde van de atmosferische grenslaag uitwisselen met snelle lucht nog voordat de wind het park bereikt.

30 Figuur 15 toont de doorsnede VI-VI van de inrichting in figuur 14. Hierin is de circulatie (3) te zien die is opgewekt door turbines (5) op drijflichaam (16). Deze circulatie heeft in het stuk van het drijflichaam tot het park al een soort inversie veroorzaakt waardoor snelle lucht van grote hoogte

naar beneden is geleid wat meer opbrengst in het park geeft en aanvullend wordt door de circulatie het zog van de turbines in park (1) weggeleid en wordt snelle lucht (8) continu aangevoerd.

5 Figuur 16 toont dezelfde situatie als in figuur 14, echter sturen de twee turbines op het drijflichaam (16) nu in tegengestelde richting. Turbine (5) stuurt naar links en turbine (6) naar rechts. Zo worden volgens de uitvinding twee tegengestelde circulaties opgewekt.

Figuur 17 toont doorsnede VII-VII van figuur 16 is vergelijkbaar met figuur 15. Het verschil is dat twee circulaties (3) worden opgewekt en dat snelle lucht (8) nu van boven in het midden van het park omlaag stroomt. Aan beide zijanten van het park wordt de zoglucht (7) weggeleid.

10 Figuur 18 toont een windturbinepark (1) volgens de uitvinding met aan loefzijde buiten het park twee profielen (17) die circulaties opwekken. Om de profielen steeds aan loefzijde ten opzichte van het park te houden zijn ze mobiel opgesteld op drijflichamen (16). De profielen buigen de wind (10) zijwaarts af volgens banen (18). De daardoor opgewekte circulatie zorgt weer voor een uitwisseling tussen de langzame lucht uit de atmosferische grenslaag met de snellere lucht op grotere hoogte zodat de windsnelheid in het traject tussen de profielen en het park toeneemt ter
15 plekke van de turbinerotoren in park (1). De tweede functie van de circulatie is het zijwaarts wegleiden van het zog en het van boven aantrekken van snelle lucht.

Figuur 19 toont de doorsnede VIII-VIII uit figuur 18. We zien de profielen (17) die een zijwaartse kracht uitoefenen op de luchtstroom die daardoor volgens de pijlen (18) afbuigt en waardoor circulaties (3) ontstaan. Ter plekke van het turbinepark (1) wordt het zog zijwaarts geleid
20 en ontstaat een instroom van snelle lucht van boven (8).

Figuur 20 toont een windturbinepark (1) dat opgebouwd is uit groepjes turbines (19). Binnen een groepje staan de turbines dicht bij elkaar, daardoor gedraagt een groepje zich effectief als één grotere turbine en kan het zog over een grotere absolute afstand zijwaarts of naar boven verplaatst worden. Als het zog verder kan worden weggeleid zullen turbines aan lij er minder hinder van
25 ondervinden.

Figuur 21 toont een enkele turbine met afmeting (20) die het zog omhoog stuurt over een afstand (21).

Figuur 22 toont een groepje turbines dat zich volgens de uitvinding gedraagt als één grotere turbine met effectieve afmeting (20) en het zog naar boven stuurt over een afstand (21). De
30 verhouding tussen de lengtes (21) en (20) is in figuren 21 en 22 globaal gelijk. Absoluut is de afstand waarover het zog wordt verplaatst in figuur 22 echter groter, waardoor het zog over grotere afstanden gestuurd kan worden. Hoe hoger het zog weggeleid wordt minder het turbines aan lijzijde

zal hinderen: de laag in de atmosfeer waarbinnen de snelheid daalt door de energie-extractie door de turbines is dikker en daarom kan er meer energie onttrokken worden.

Figuur 23 toont een windturbinepark (1) volgens de uitvinding met de eigenschap dat het zich uitstrekt in dominante windrichting (2). Een dergelijk park is ook al in figuur 1 getoond. 5 Normaal gezien wordt minder opbrengst verwacht indien een opstelling in dominante windrichting gekozen wordt, omdat de schaduwwerking groter is dan bij een opstelling die zich uitstrekt loodrecht op de dominante windrichting. Echter indien de werkwijze van de uitvinding wordt toegepast kan de windsnelheid juist toenemen (of minder afnemen) met de afstand in het park en kan een windturbinepark dat zich uitstrekt in dominante windrichting juist meer produceren dan een 10 conventioneel park. Een extra argument is dat het opwekken van de circulaties (3) enige opbrengst kost omdat de turbines aan loef door de scheefstand minder energie opwekken. Echter kost het minder moeite om de circulaties in stand te houden en hebben ze daarom in stromingsrichting over langere afstand een gunstig effect. Daarom kan een park zich in dominante windrichting uitstrekken.

Figuur 24 toont een andere voorkeursuitvoering volgens de uitvinding van een park op het 15 Noordelijk Halfrond. Bij dit park is rekening gehouden met de 'natuurlijke' afbuiging van het zog (7) naar links op het Noordelijk halfrond, die ook optreedt als de turbines niet scheef staan. Door het park een hoek (22) te laten maken met de dominante windrichting (2) wordt schaduwwerking verder voorkomen.

Figuur 25 toont een windturbine met een uitzonderlijk grote tilthoek (25), die gedefinieerd 20 wordt als de hoek tussen de horizontaal (24) en de as van de rotor van een horizontale as turbine (23). De grote tilthoek maakt het mogelijk het zog naar boven te sturen zoals weergegeven in figuren 8 en 21 en zoals functioneel kan zijn om schaduwwerking volgens de uitvinding te reduceren.

Figuur 26 toont volgens de uitvinding een windturbine met een variabele tilthoek. Bij weinig 25 wind kan het wenselijk zijn om het zog sterk naar boven te sturen, zodat er een grote tilthoek nodig is, terwijl bij veel wind een kleine tilthoek het beste kan zijn. De ideale tilthoek is tevens afhankelijk van de windrichting en van de positie van de turbine in het park. Daarom maakt een variabele tilthoek een betere (met minder interferentie tussen de turbines) parkregeling mogelijk.

Figuur 27 toont twee rotoren (28) op één toren wat volgens de uitvinding een gunstige 30 combinatie is om circulaties in een park op te wekken. Een enkele rotor op een toren die scheef op de wind staat zal twee tegen elkaar in draaiende wervels opwekken. Deze wervels zijn op grotere afstand niet effectief omdat ze elkaar opheffen. Om meer effect te krijgen op grotere afstand dienen

de tegen elkaar indraaiende wervels zich op grotere afstand van elkaar te bevinden. Dat wordt bereikt door twee rotoren (28) op een toren te plaatsen die allebei scheef staan. Hiermee worden circulaties die zog afvoeren en snelle lucht van boven het park inleiden effectiever opgewekt.

5 Figuur 28 toont een zijaanzicht van de inrichting van figuur 27. Op de toren (27) zijn twee rotoren (28) aangebracht die samen effectiever de circulaties kunnen opwekken.

Figuur 29 toont volgens de uitvinding een andere uitvoering van een windturbine waarmee de tegen elkaar indraaiende wervels op grote afstand van elkaar worden gebracht. In dit geval gebeurt dat door een profiel (29) om de toren (27) aan te brengen waarmee een zijwaartse kracht op de wind kan worden gezet.

10 Figuur 30 toont de doorsnede IX-IX van figuur 29 waarin het profiel (29) om de toren (27) nog eens te zien zijn.

Figuur 31 toont de conventionele verticale as turbine (30) met volgens de uitvinding de bijzondere eigenschap dat er een zijwaartse kracht op de wind uitgeoefend kan worden. Dat gebeurt door de bladhoek van de turbinebladen (32) cyclisch te verstellen terwijl de bladen ronddraaien
15 volgens de baan (31).

Figuur 32 toont de verticale as turbine volgens de doorsnede X-X. De bladen (32) zijn op 12 plaatsen in een omwenteling getoond om zichtbaar te maken hoe de bladhoek in een omwenteling cyclisch versteld wordt opdat de wind (10) afbuigt volgens de pijl (7). Ook een verticale as turbine kan daarom gebruikt worden om schaduwwerking tegen te gaan of juist te bevorderen, mits de
20 turbine over cyclisch bladverstelling beschikt.

Figuur 33 toont een grafiek met de curve (33) die het verloop van het opgewekte vermogen P met de windsnelheid V weergeeft. Bij een geringe windsnelheid van zo'n 3-4 m/s wordt voor het eerst vermogen opgewekt, dit is de 'cut-in' windsnelheid (34). Het vermogen neemt dan snel toe totdat het maximale vermogen bij de nominale windsnelheid (35) bereikt wordt. Meestal gebeurt dat
25 tussen 10 en 15 m/s. Veel turbines worden gestopt bij een bepaalde 'cut-out' windsnelheid (36) om overbelasting te voorkomen. Indien een windturbine binnen een park zich bevindt op de curve in het stuk tussen (34) en (35) is het zinvol om schaduwwerking volgens de uitvinding te voorkomen. Is de windsnelheid echter boven de nominale windsnelheid dat levert meer wind niet meer vermogen maar mogelijk zelfs minder. Indien de curve (33) daalt in het stuk tussen (35) en (36) kan het
30 volgens de uitvinding daarom zinvol zijn om in dit windsnelheidsbereik schaduwwerking te bevorderen. De windsnelheid ter plekke van de turbine daalt dan waardoor de opbrengst stijgt. Een extreem voorbeeld volgens de uitvinding is dat de windsnelheid iets hoger is dan de 'cut-out'

windsnelheid, zodat het park dus stilstaat. In dit geval zou de windsnelheid door schaduwwerking te bevorderen juist onder 'cut-out' kunnen uitkomen en kan het park dus in bedrijf komen of blijven. Het park gaat dan van stilstand en geen opbrengst naar een toestand van vol bedrijf en hoge opbrengst.

- 5 Hoewel de uitvinding hierboven aan de hand van voorkeursuitvoeringen beschreven is, zal een deskundige direct inzien dat het voordeel ook bereikt kan worden op een groot aan andere manieren die binnen het bereik van de bijgevoegde conclusies liggen.

CONCLUSIES

1. Werkwijze met betrekking tot een inrichting die energie aan een stromend fluïdum onttrekt, in het bijzonder aan (zee)water- en/of windstromen, met het kenmerk dat door tenminste één element van die inrichting krachten met een component loodrecht op de ongestoorde stromingsrichting worden uitgeoefend, zodanig dat door tenminste één energie-onttrekkend element van de inrichting fluïdum wordt geleid met hogere kinetische energie of met lagere kinetische energie, vergeleken met de normale situatie waarbij de genoemde krachtcomponent ontbreekt.
2. Werkwijze volgens conclusie 1 waarbij de verhouding tussen de krachtcomponent loodrecht op en die parallel aan de ongestoorde stromingsrichting meer dan 0.1, in het bijzonder meer dan 0.2 en meer in het bijzonder meer dan 0.3 bedraagt.
3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, waarbij fluïdum met hogere kinetische energie van boven de inrichting door de energie-onttrekkende elementen wordt geleid.
4. Werkwijze volgens conclusies 1, 2 of 3 waarbij meerdere geleidende elementen meewerken aan het opwekken van dezelfde circulatie zodanig dat de sterkte en of de schaal van de circulatie, toeneemt.
5. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies 1 tot en met 4, waarbij tenminste één element van de inrichting, eventueel met geleidende functie, wordt bedreven met een axiale inductie a groter dan $1/3$ of kleiner dan 0.
6. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij tenminste één geleidend element binnen het park is opgesteld.
7. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij tenminste één geleidend element buiten het park is opgesteld.
8. Werkwijze volgens conclusie 6 of 7, waarbij tenminste één geleidend element mobiel is uitgevoerd.
9. Werkwijze volgens een der conclusies 6 tot en met 8 waarbij tenminste één geleidend element een horizontale as turbine betreft, waarvan de rotoras ten opzichte van de ongestoorde stromingsrichting een hoek maakt groter dan 5 graden, in het bijzonder groter dan 10 graden en meer in het bijzonder groter dan 15 graden.
10. Werkwijze volgens een der conclusie 9, waarbij het geleidende element zijn bladen cyclisch verstell.

11. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies waarbij de geleiding zodanig is dat zoggen uit energie-onttrekkende elementen gebundeld worden door ze naar elkaar toe te sturen zodat mengverliezen worden beperkt.
- 5 12. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij meerdere turbines op een gemeenschappelijke ondersteuning samen een geleidende functie hebben.
13. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies waarbij de geleiding zodanig is dat het langzame fluïdum op het Noordelijk Halfrond naar links wordt geleid en op het Zuidelijk Halfrond naar rechts.
- 10 14. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies, waarbij de fluïdumgeleiding in hoofdzaak aan loefzijde van de inrichting plaatsvindt.
15. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies, waarbij de verhouding tussen de kracht loodrecht op en die parallel aan de ongestoorde stromingsrichting uitgeoefend door geleidende elementen die in hoofdzaak in stromingsrichting achter elkaar staan opgesteld, in stromingsrichting afneemt in een deel van de inrichting.
- 15 16. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies waarbij van loef naar lij door de inrichting bewegend, de scheefstand van de horizontale as turbines in een deel van de inrichting afneemt.
17. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies waarbij tenminste één turbine scheef op de ongestoorde stromingsrichting wordt ingesteld, zonder dat het schaduwverlies van turbines aan lij op een afstand kleiner dan 10 maal de karakteristieke afmeting van de betreffende
- 20 scheefstaande turbine afneemt.
18. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies waarbij sprake is van meer dan één turbinepark en waarbij tenminste één aan loef gelegen park een geleidende functie krijgt zodat tenminste één aan lij gelegen park minder schaduwverlies heeft.
- 25 19. Werkwijze volgens een der bovenstaande conclusies, waarbij de zijwaartse kracht wordt uitgeoefend door dichtheidsverschillen in het fluïdum aan te brengen door verwarming of door afkoeling bijvoorbeeld veroorzaakt door verdamping van water.
- 30 20. Inrichting volgens een der bovenstaande conclusies met tenminste 20 turbines, waarbij het turbinepark zich in hoofdzaak in dominante stromingsrichting uitstrekt over een lengte die meer dan de breedte van het park is en in het bijzonder over een lengte die meer dan $\frac{3}{2}$ maal de parkbreedte is en meer in het bijzonder over een lengte die meer dan 2 maal de breedte van het park is.

21. Inrichting volgens een der bovenstaande conclusies met tenminste 20 turbines, waarbij de onderlinge afstand tussen de turbines in dominante stromingsrichting minder bedraagt dan 5 maal de karakteristieke afmeting van de betreffende turbines, in het bijzonder minder dan 4 maal en meer in het bijzonder minder dan 3 maal.
- 5 22. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies met tenminste 20 turbines, waarbij het totale door de turbines bestreken oppervlak meer dan 5%, in het bijzonder meer dan 10% en meer in het bijzonder meer dan 20% van het parkoppervlak beslaat.
- 10 23. Inrichting volgens een der bovenstaande conclusies waarbij meerdere turbines in groepjes bijeen zijn geplaatst op een onderlinge afstand tussen de centra van de bestreken oppervlakken, kleiner dan anderhalf maal de karakteristieke afmeting van een turbine en waarbij de groepjes als geleidende elementen functioneren (In het bijzonder bedraagt de afstand tussen de rotatiecentra van horizontale as rotoren minder dan anderhalve diameter).
- 15 24. Inrichting volgens een der bovenstaande conclusies, waarbij passieve of actieve geleidende elementen buiten het park en in hoofdzaak aan loefzijde ten opzichte van de dominante windrichting staan opgesteld.
- 20 25. Inrichting volgens de bovenstaande conclusies waarbij tenminste een deel van de ondersteuningsconstructie van tenminste één der geleidende of energie-onttrekkende elementen is voorzien van profielen waarmee een kracht loodrecht op de ongestoorde fluidumrichting kan worden uitgeoefend om de geleiding te verbeteren.
26. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies waarbij tenminste één geleidend element een windturbine betreft waarbij de toren zo is uitgevoerd dat hij geschikt is om een zijwaartse kracht op de ongestoorde fluidumrichting te zetten, zodanig dat de geleiding van de combinatie turbine en toren verbetert.
- 25 27. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies waarbij tenminste één horizontale as turbine een geleidende functie heeft en waarbij die turbine een vaste tilthoek heeft groter dan 10 graden, in het bijzonder groter dan 15 graden en meer in het bijzonder groter dan 20 graden of een variabel instelbare tilthoek heeft.
- 30 28. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies waarbij de turbine een verticale as turbine is die de mogelijkheid heeft zijn bladen cyclisch te verstellen, zodat deze turbine een zijwaartse kracht op de stroming kan uitoefenen en zo een geleidende functie kan hebben.
29. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies waarbij tenminste een geleidend element mobiel is opgesteld.

30. Offshore windturbinepark volgens een der bovenstaande conclusies.
31. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies met het kenmerk dat de inrichting bestuurd wordt middels software die zelflerend is en waarbij geoptimaliseerd wordt naar de totaalprestatie van het park, waaraan de prestaties van de individuele elementen ondergeschikt zijn.
- 5 32. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies waarbij de inrichting bestuurd wordt middels software die informatie over de stabiliteit van de atmosfeer mede gebruikt om parameters zoals de circulatieschaal, de positie van eventuele mobiele elementen, en de instelling van turbines met variabele tilthoeken indien aanwezig in te stellen.

1/15

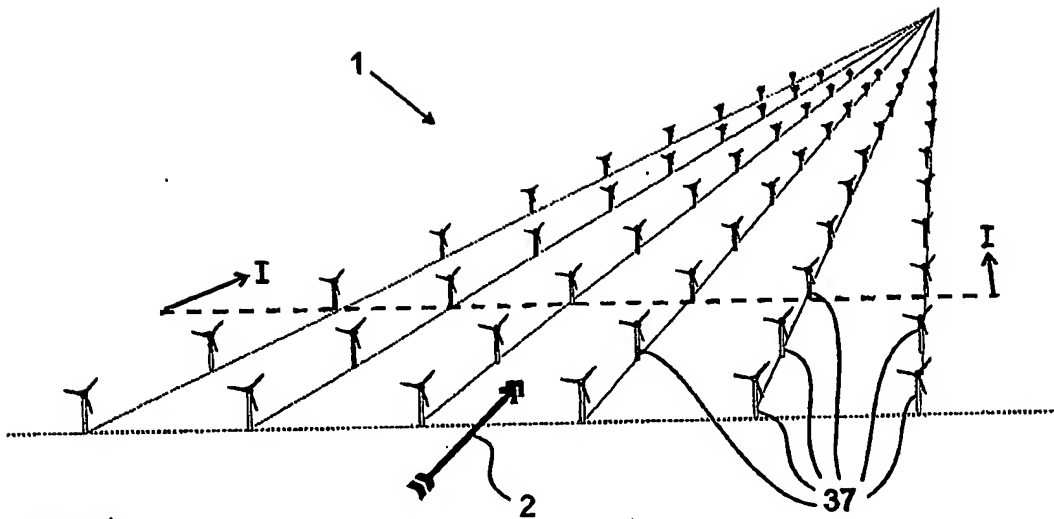


Fig. 1

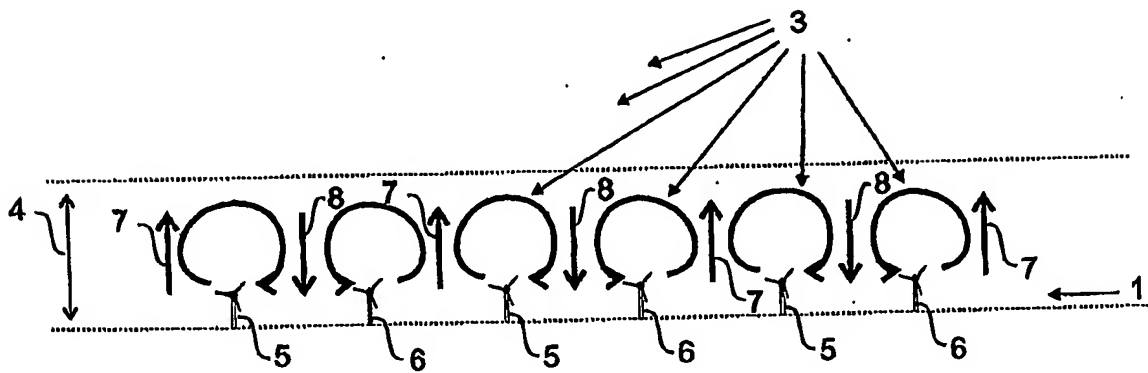


Fig. 2 (I-I)

2/15

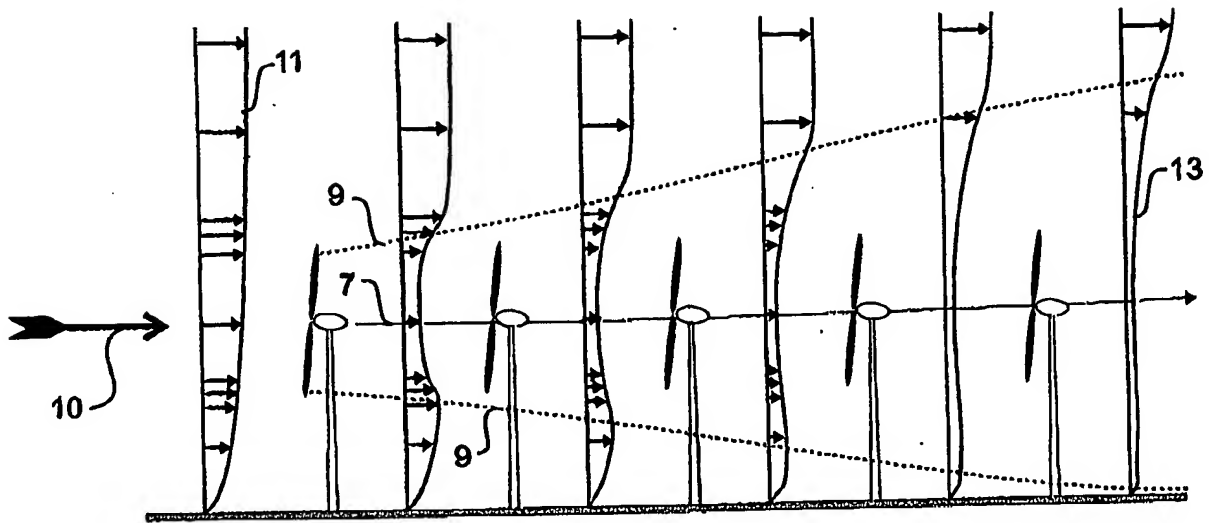


Fig. 3

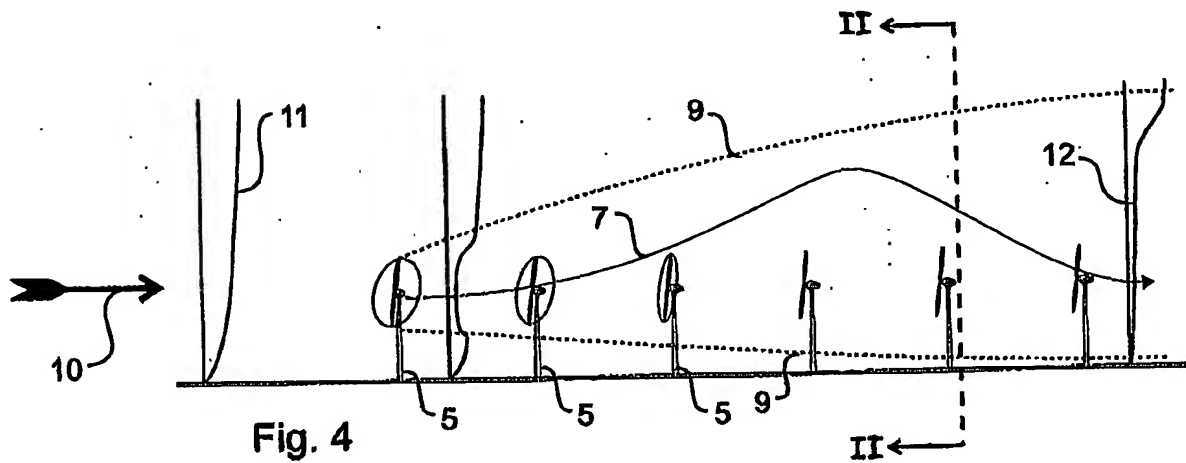


Fig. 4

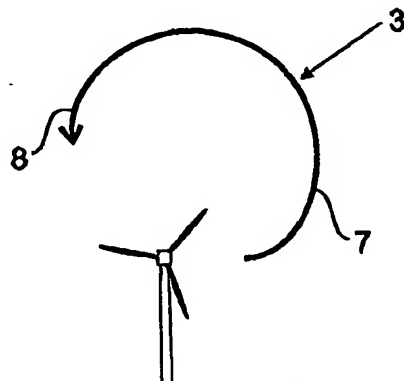


Fig. 5 (II-II)

3/15

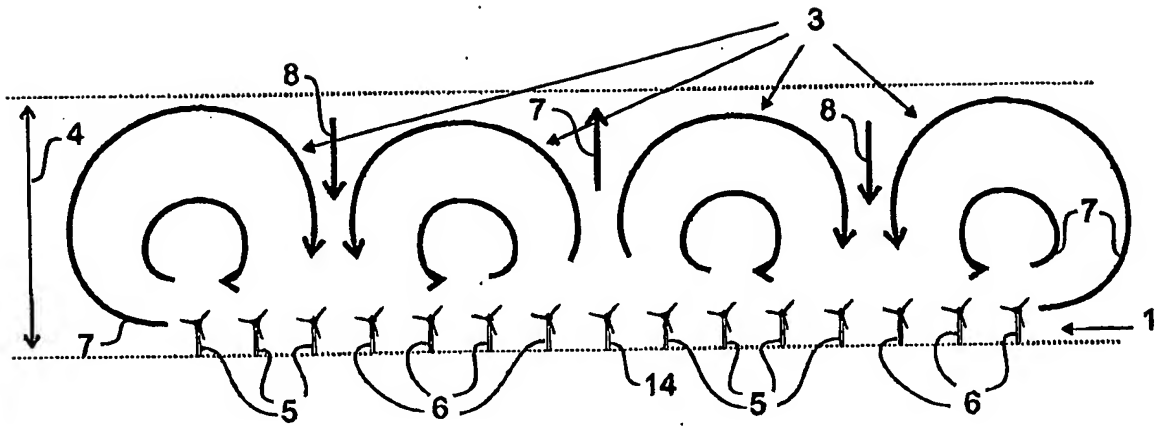


Fig. 6

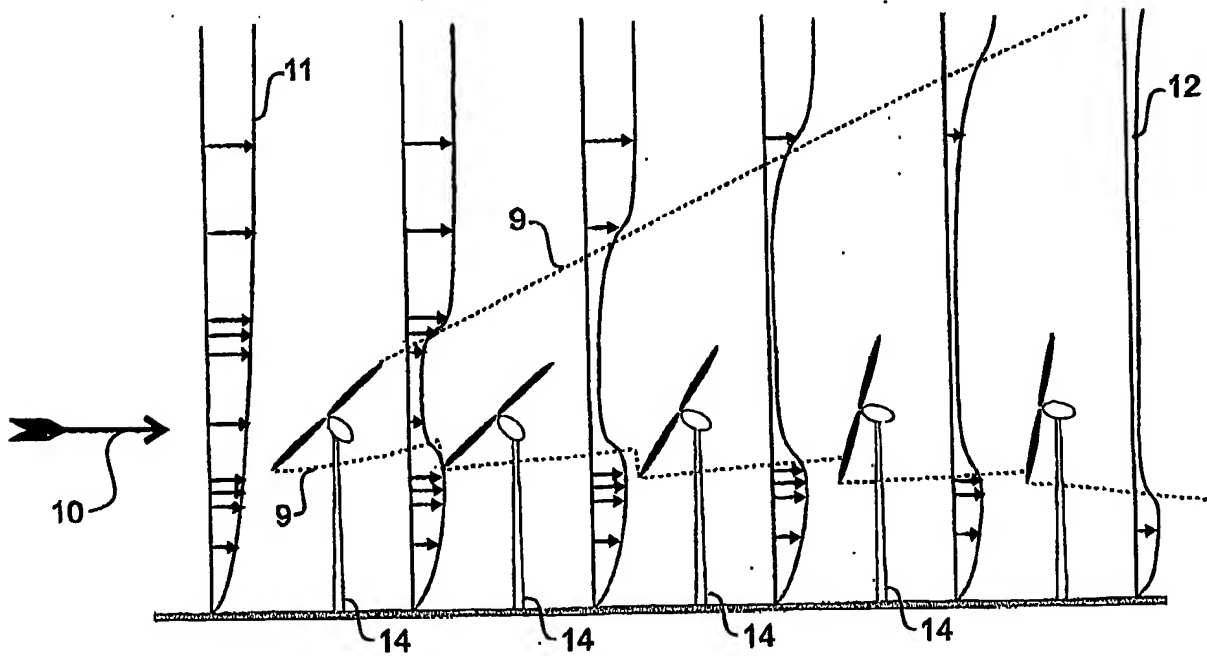
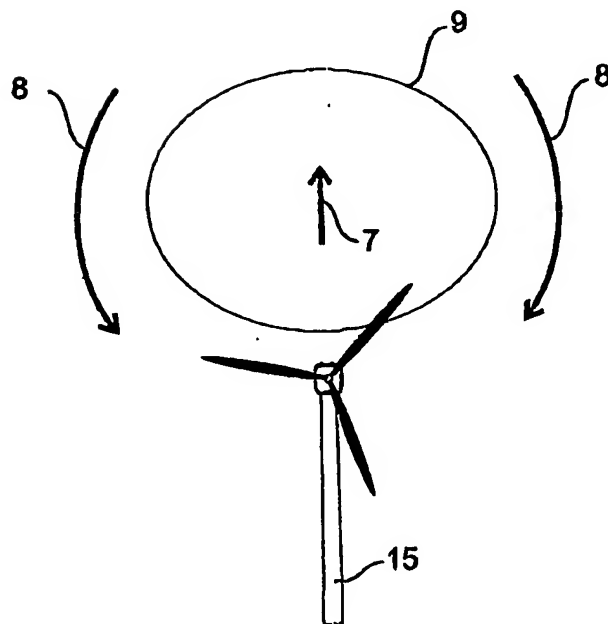
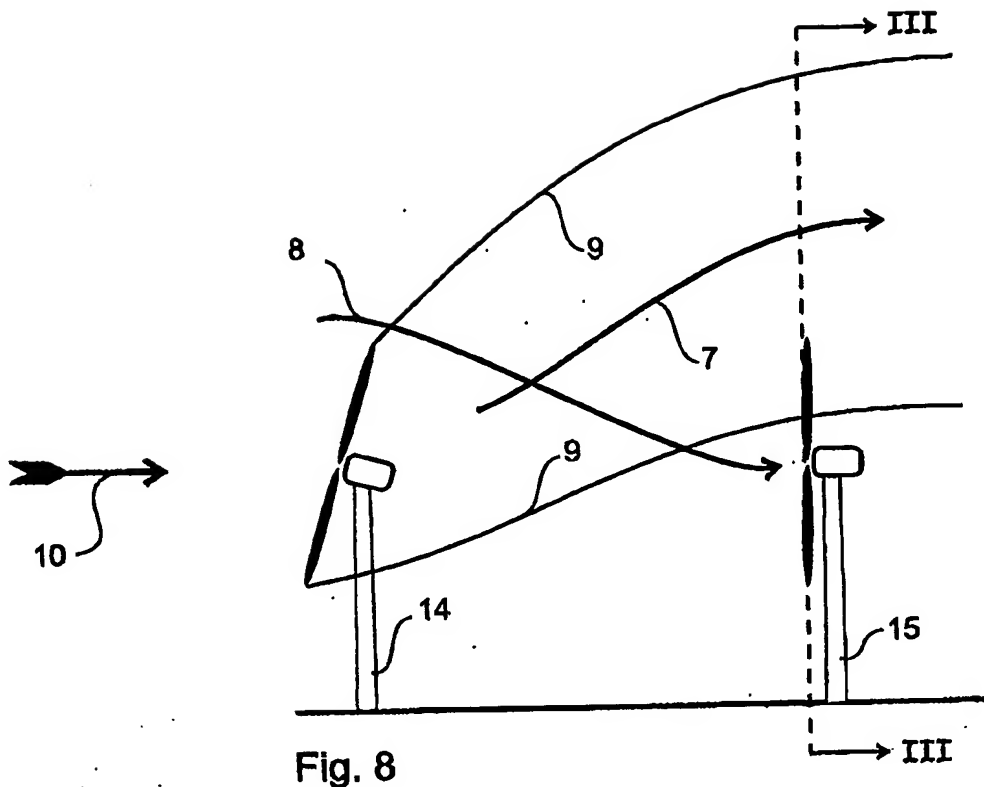


Fig. 7

4/15



5/15

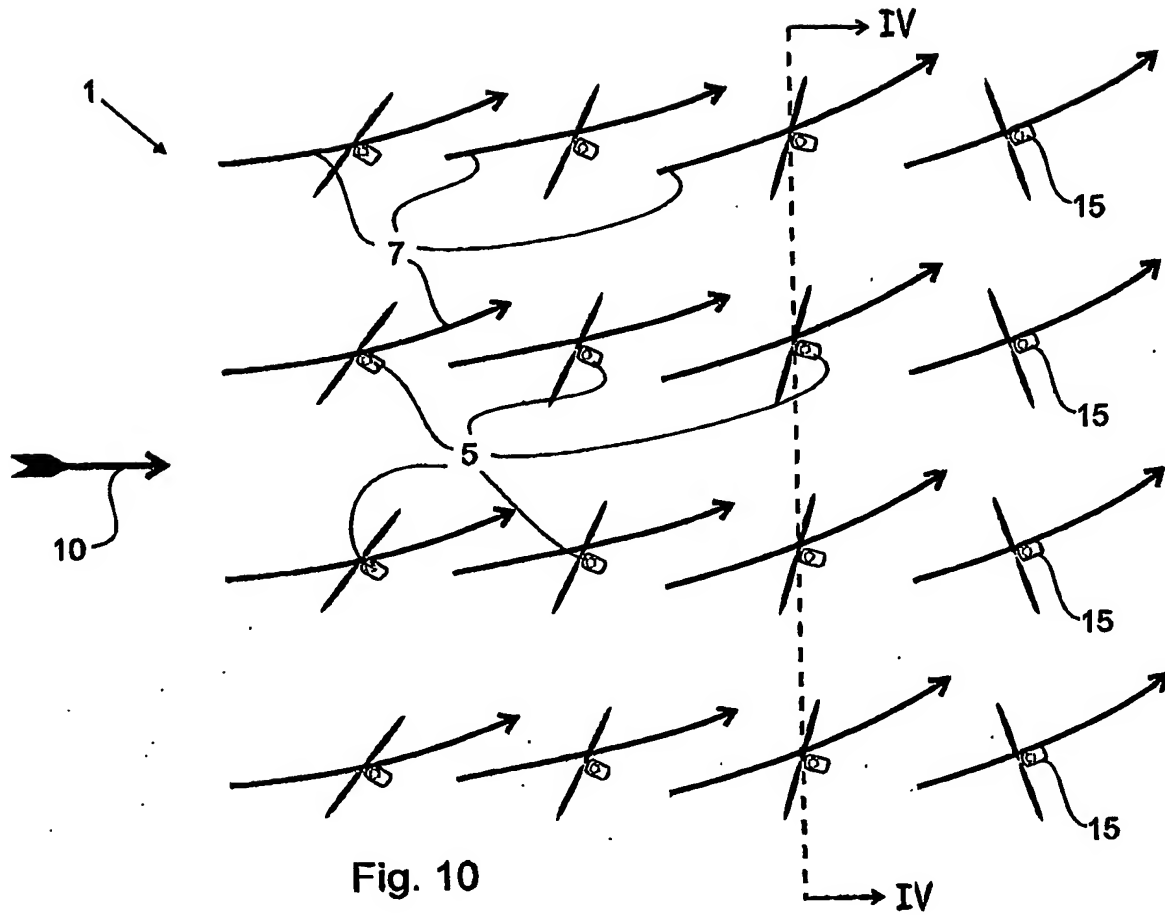


Fig. 10

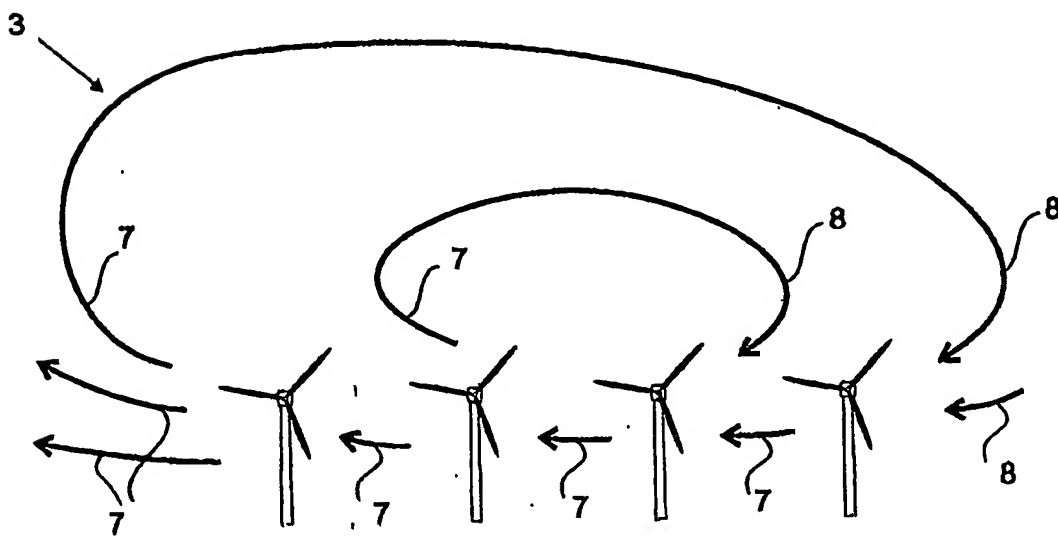


Fig. 11 (IV-IV)

6/15

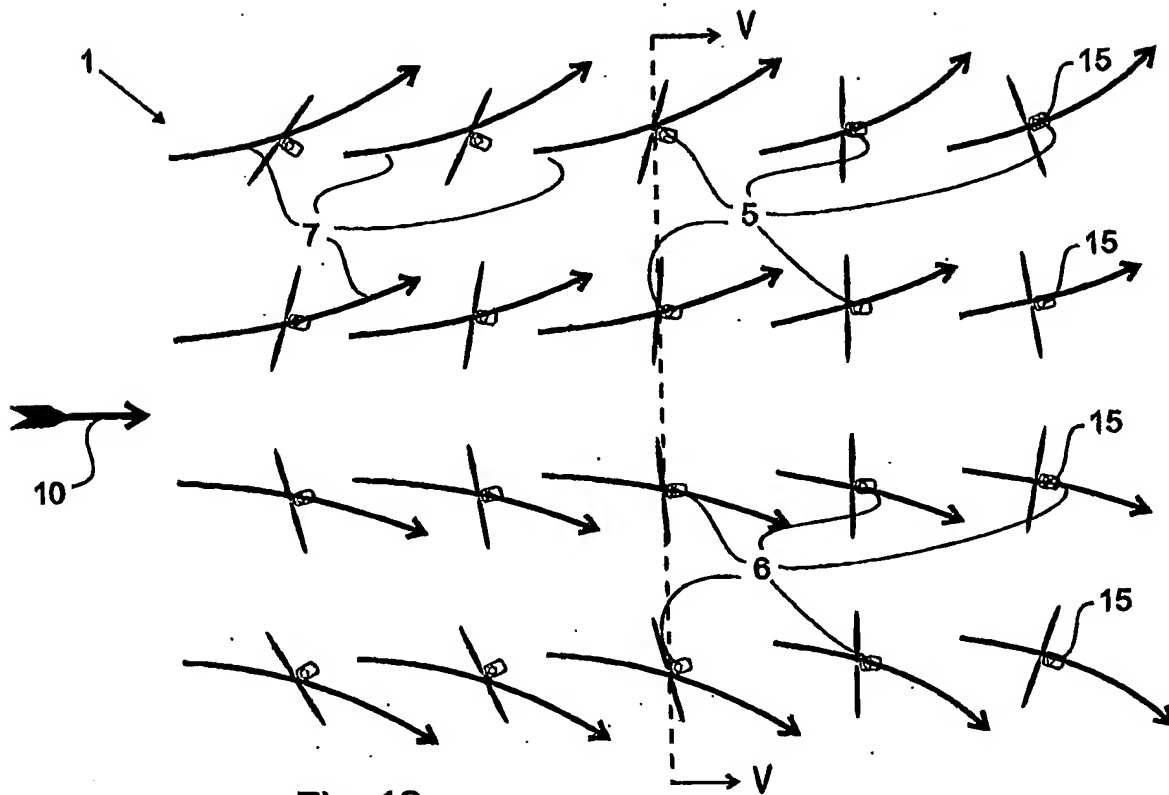


Fig. 12

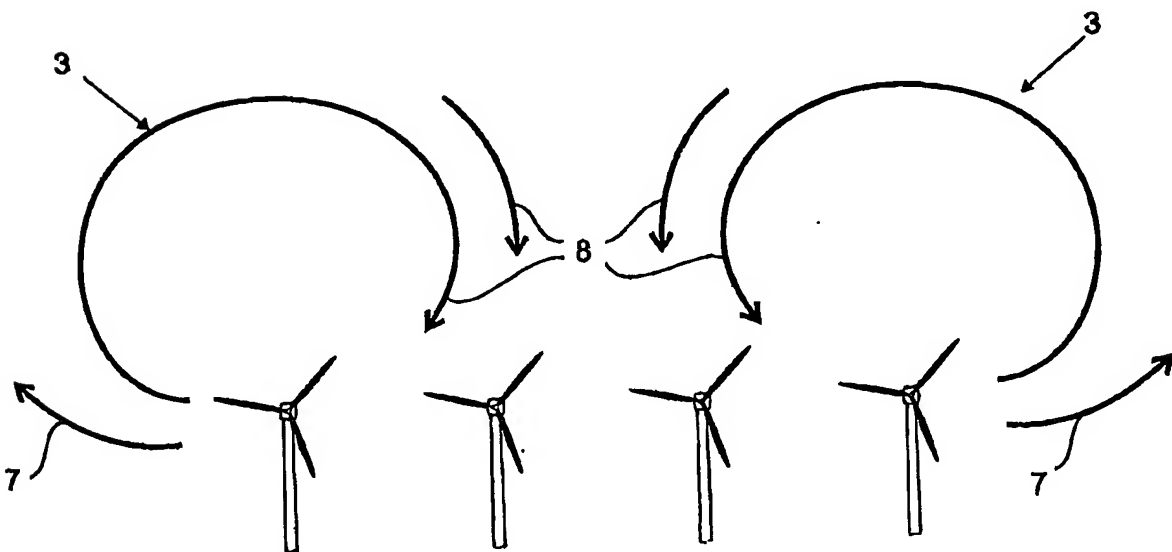


Fig. 13 (V-V)

7/15

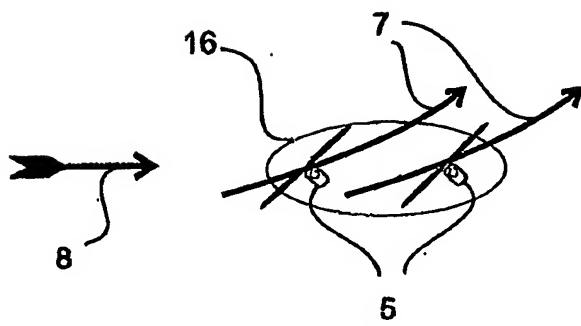


Fig. 14

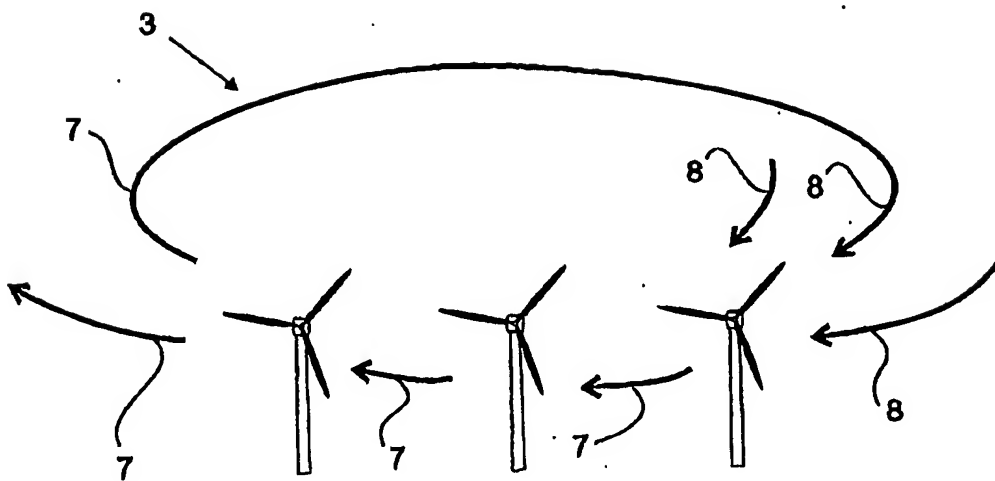
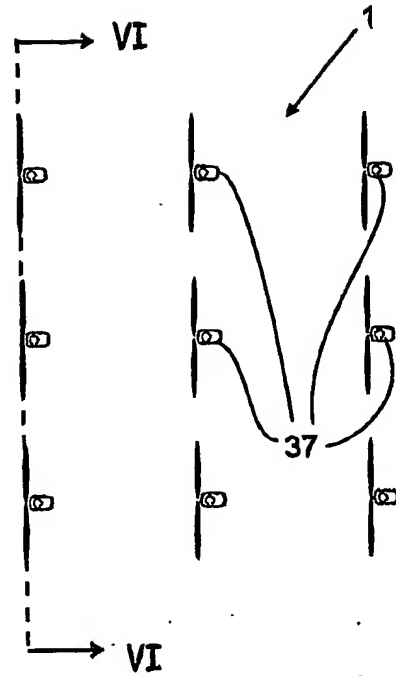


Fig. 15 (VI-VI)

8/15

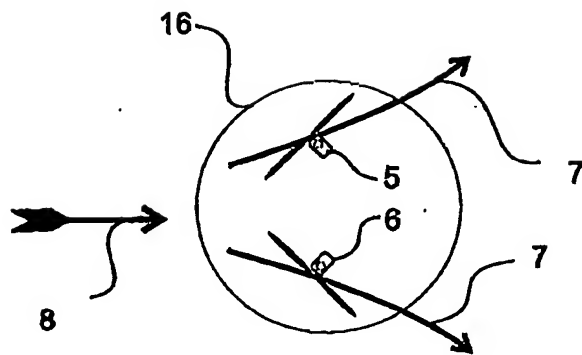


Fig. 16

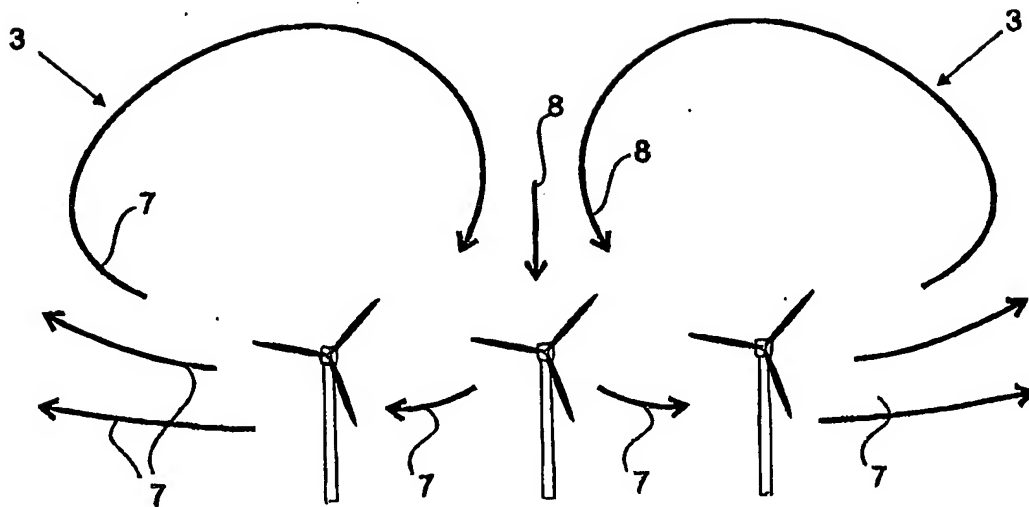
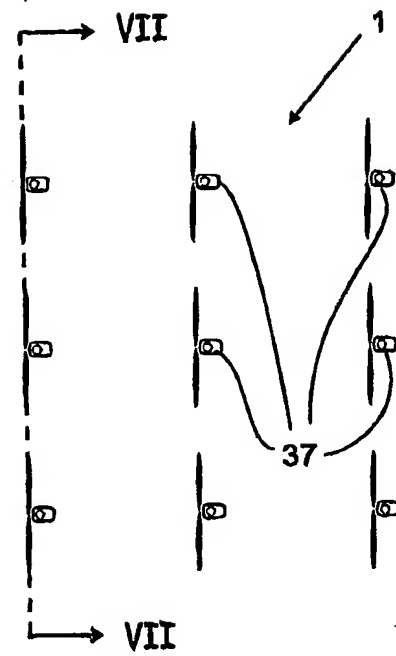


Fig. 17 (VII-VII)

9/15

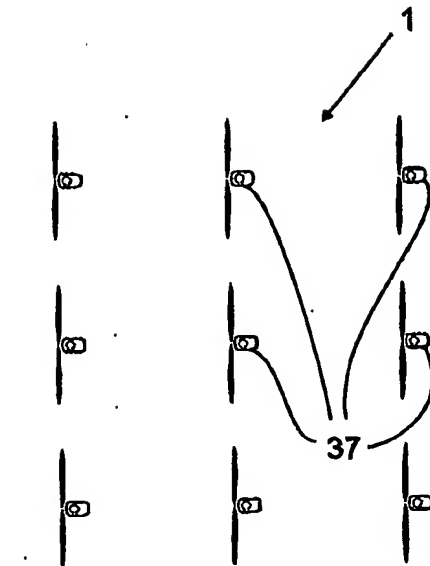
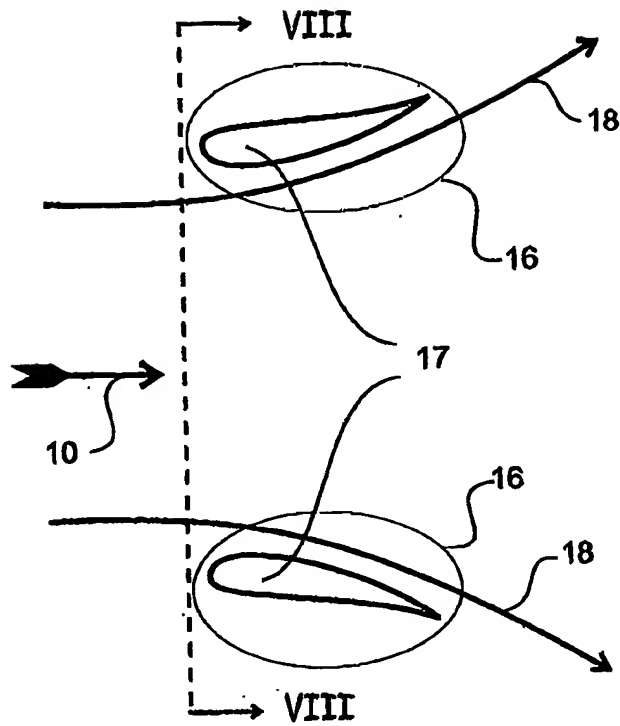


Fig. 18

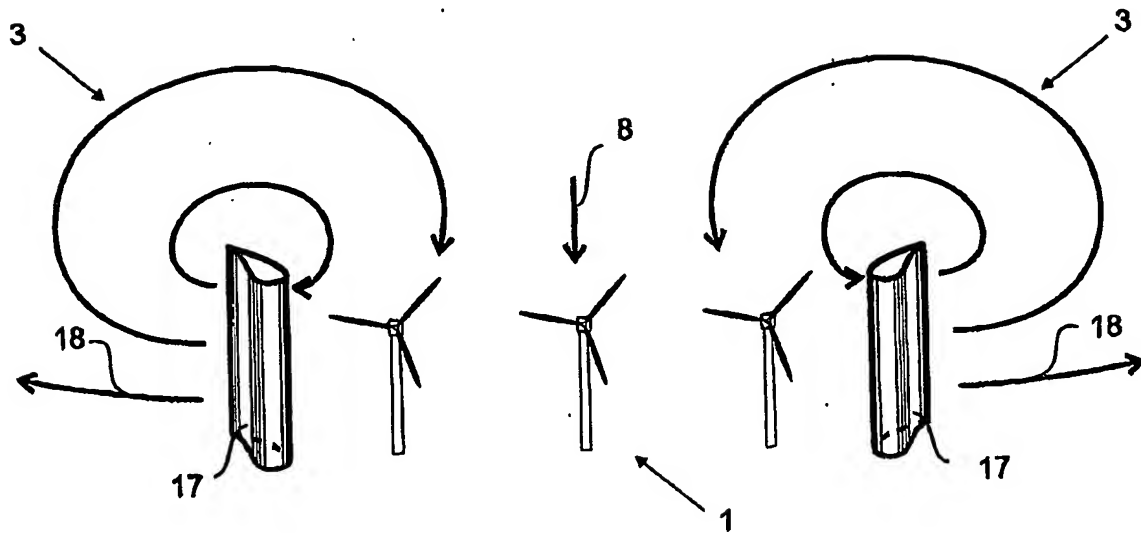


Fig. 19 (VIII-VIII)

10/15

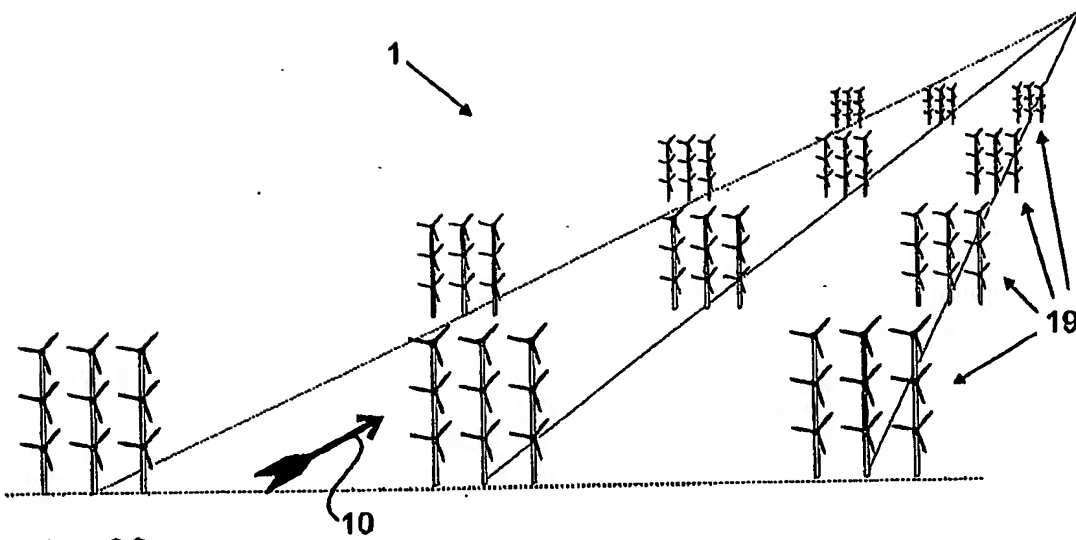


Fig. 20

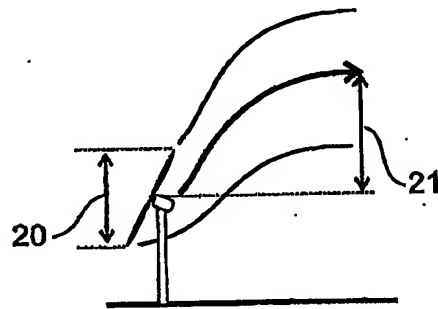


Fig. 21

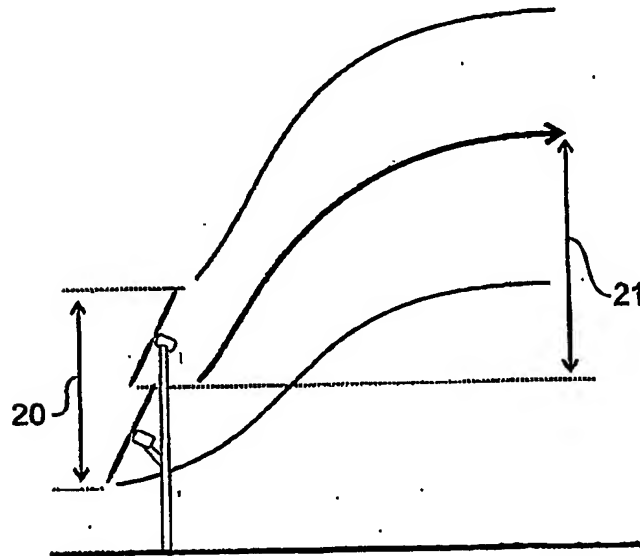


Fig. 22

11/15

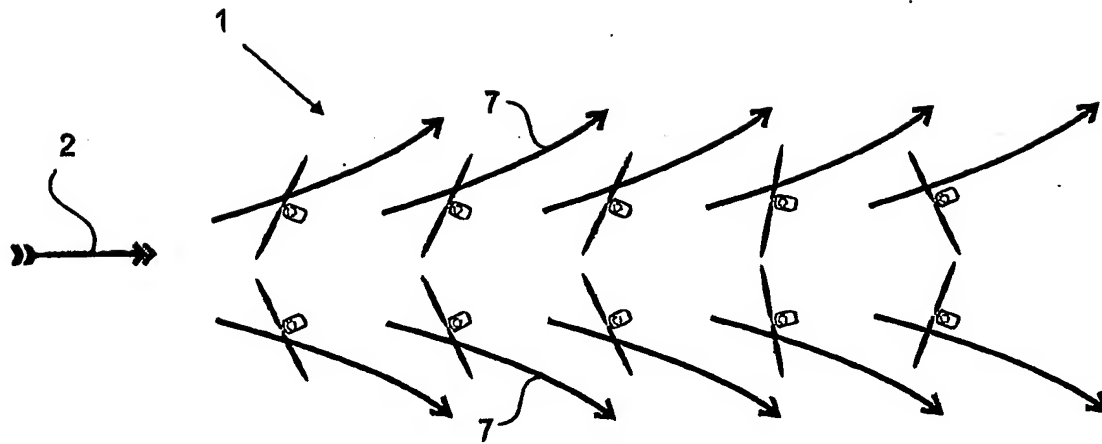


Fig. 23

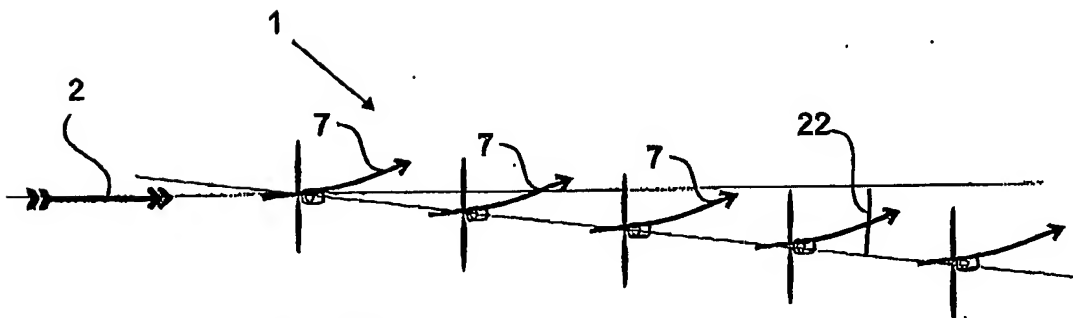


Fig. 24

12/15

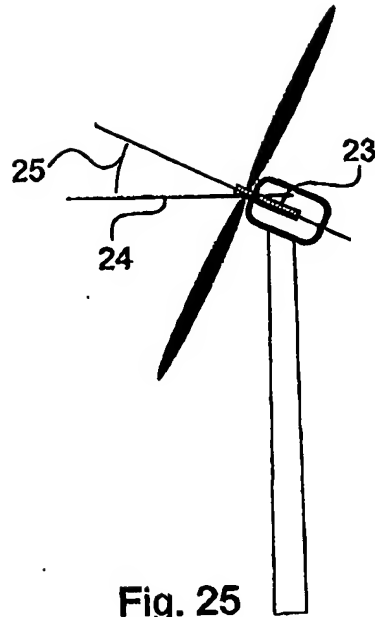


Fig. 25

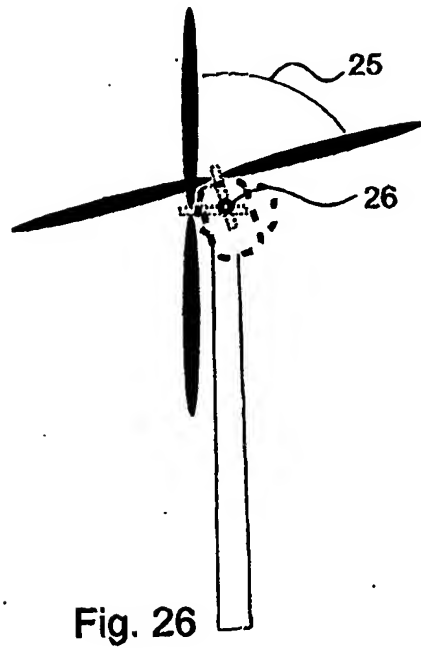


Fig. 26

13/15

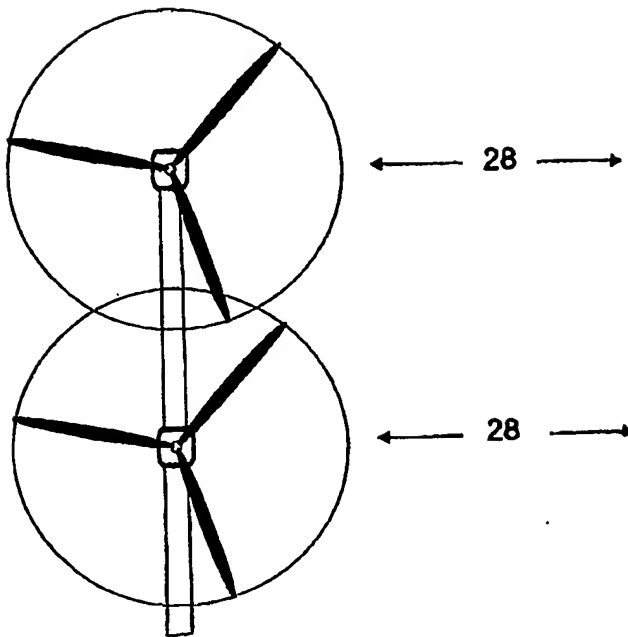


Fig. 27



Fig. 28

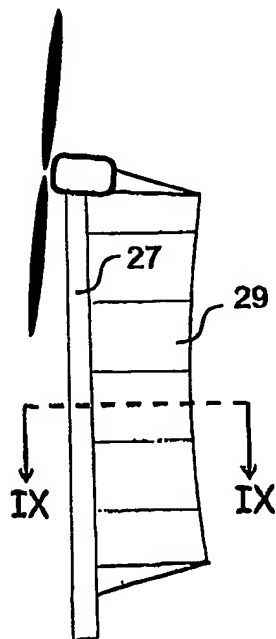


Fig. 29

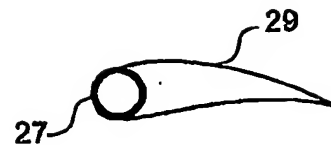
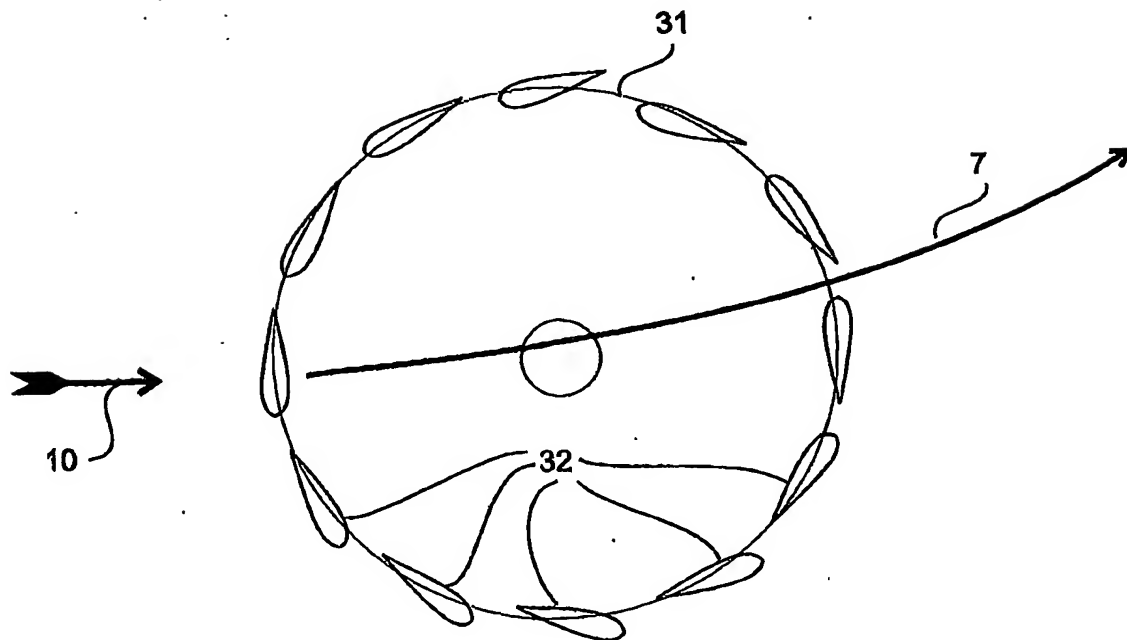
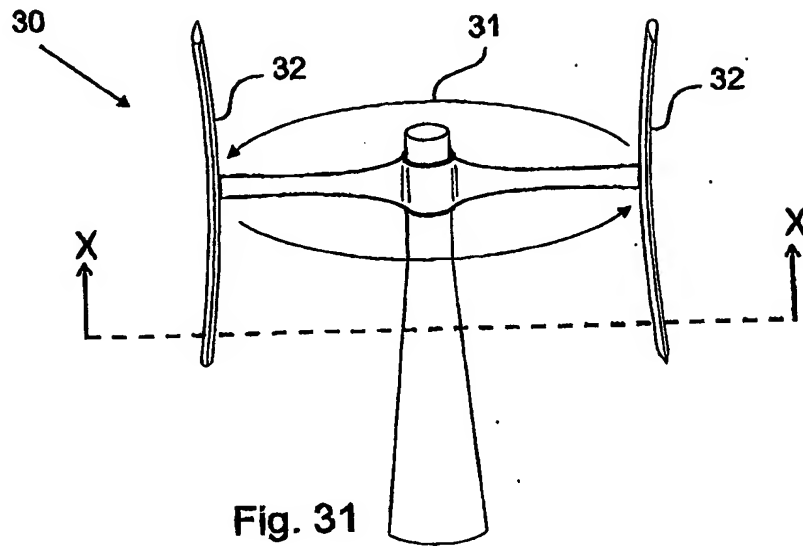


Fig. 30 (IX-IX)

14/15



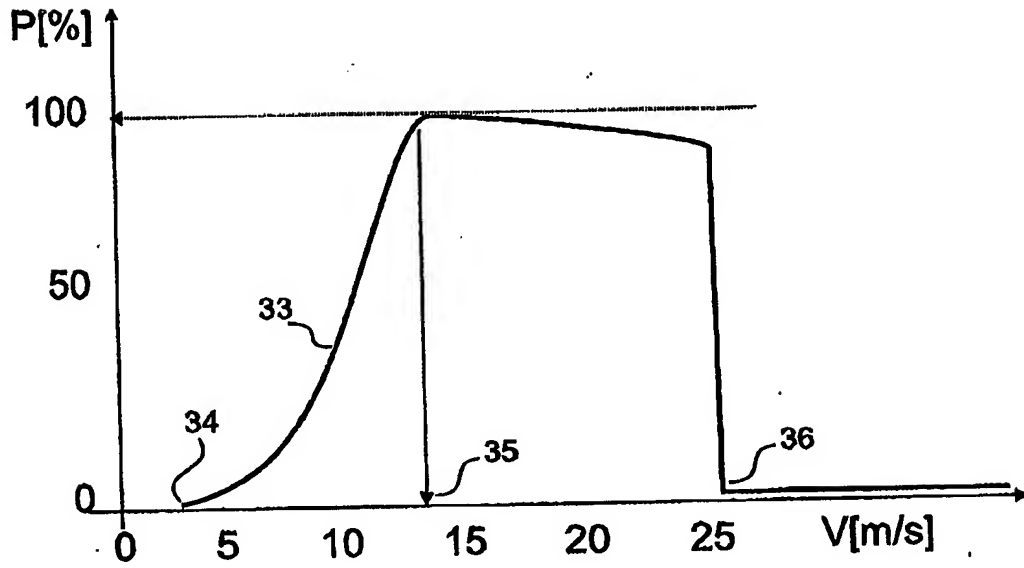


Fig. 33

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.